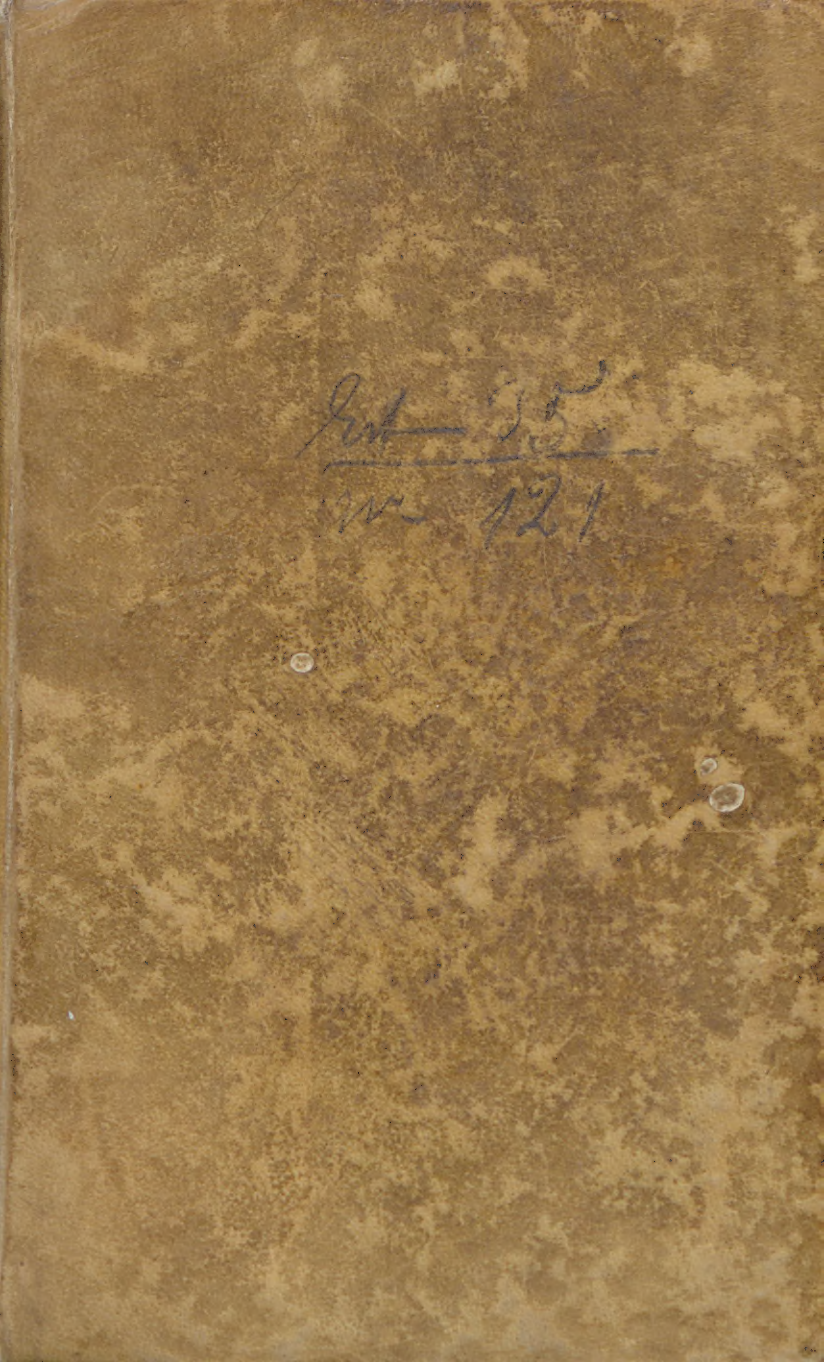
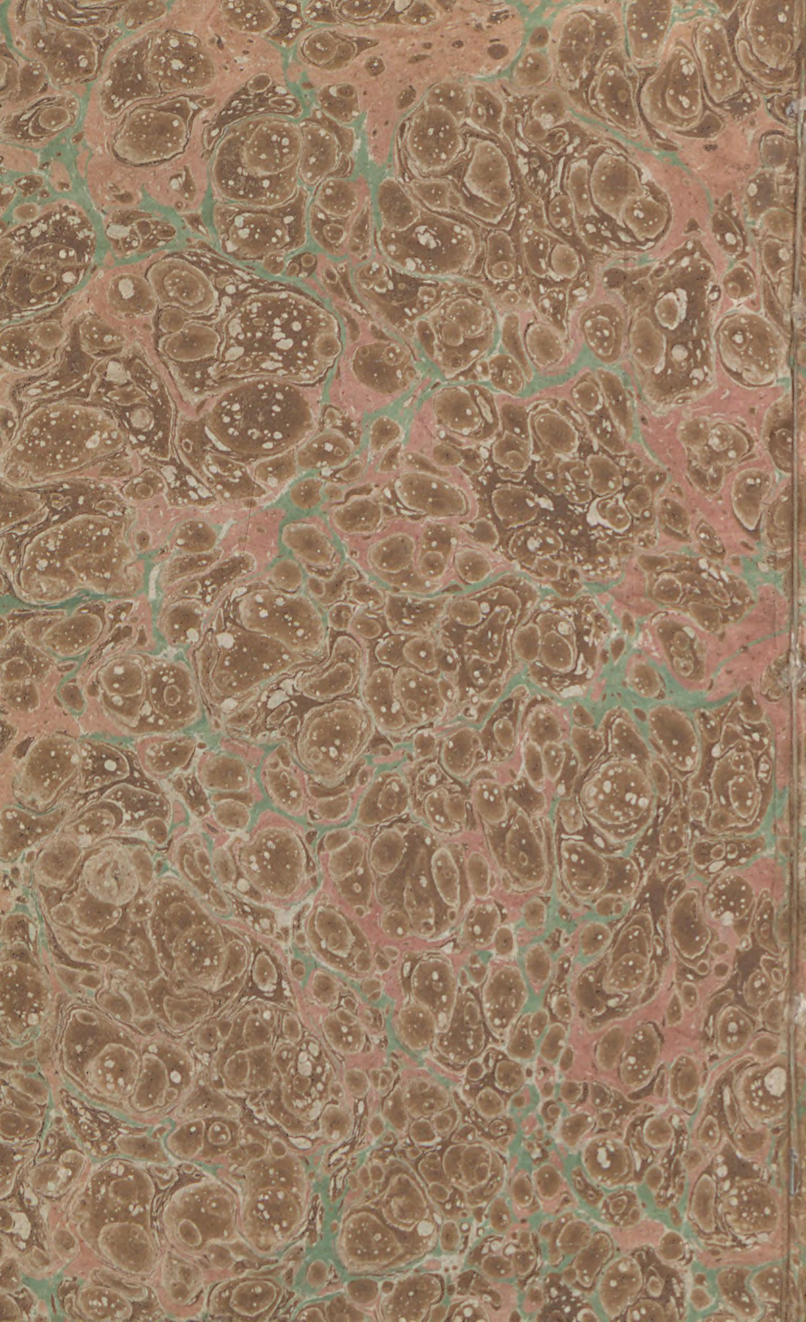
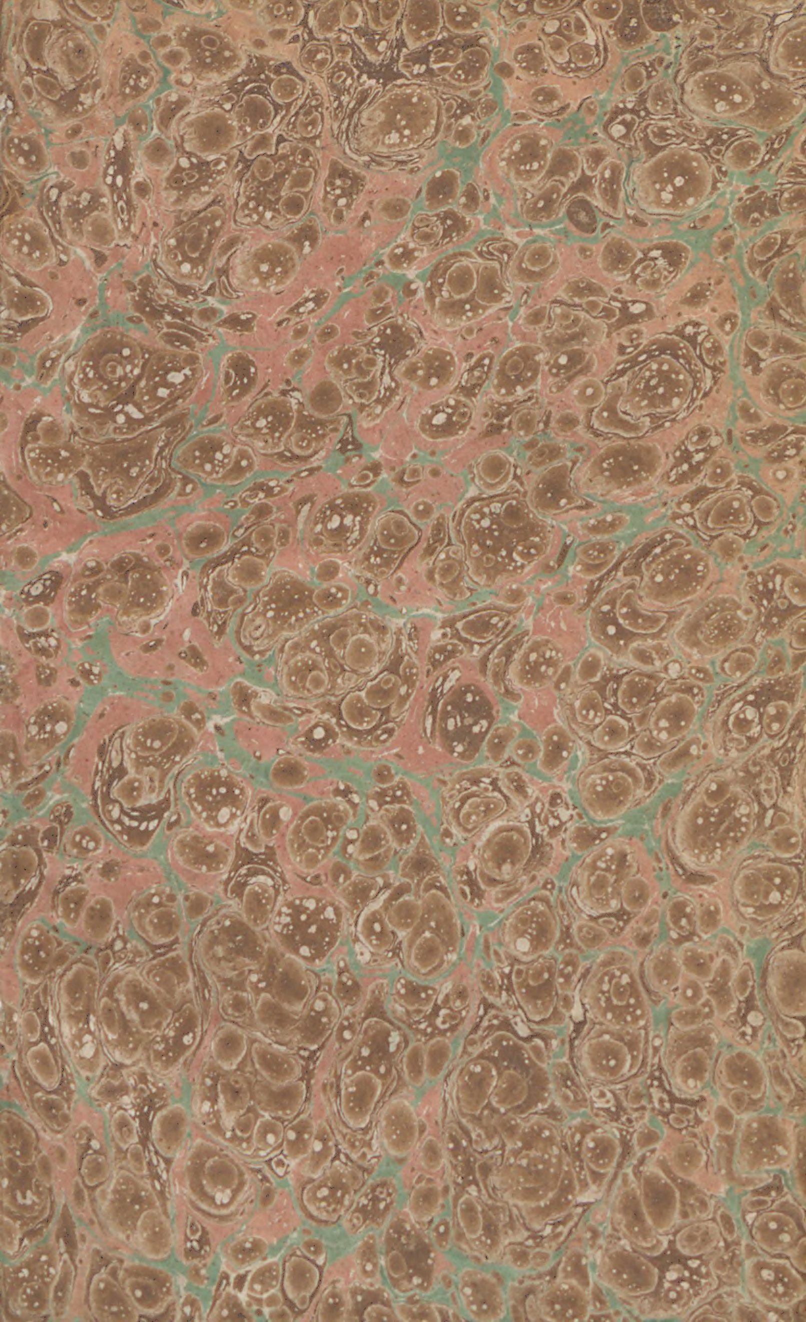
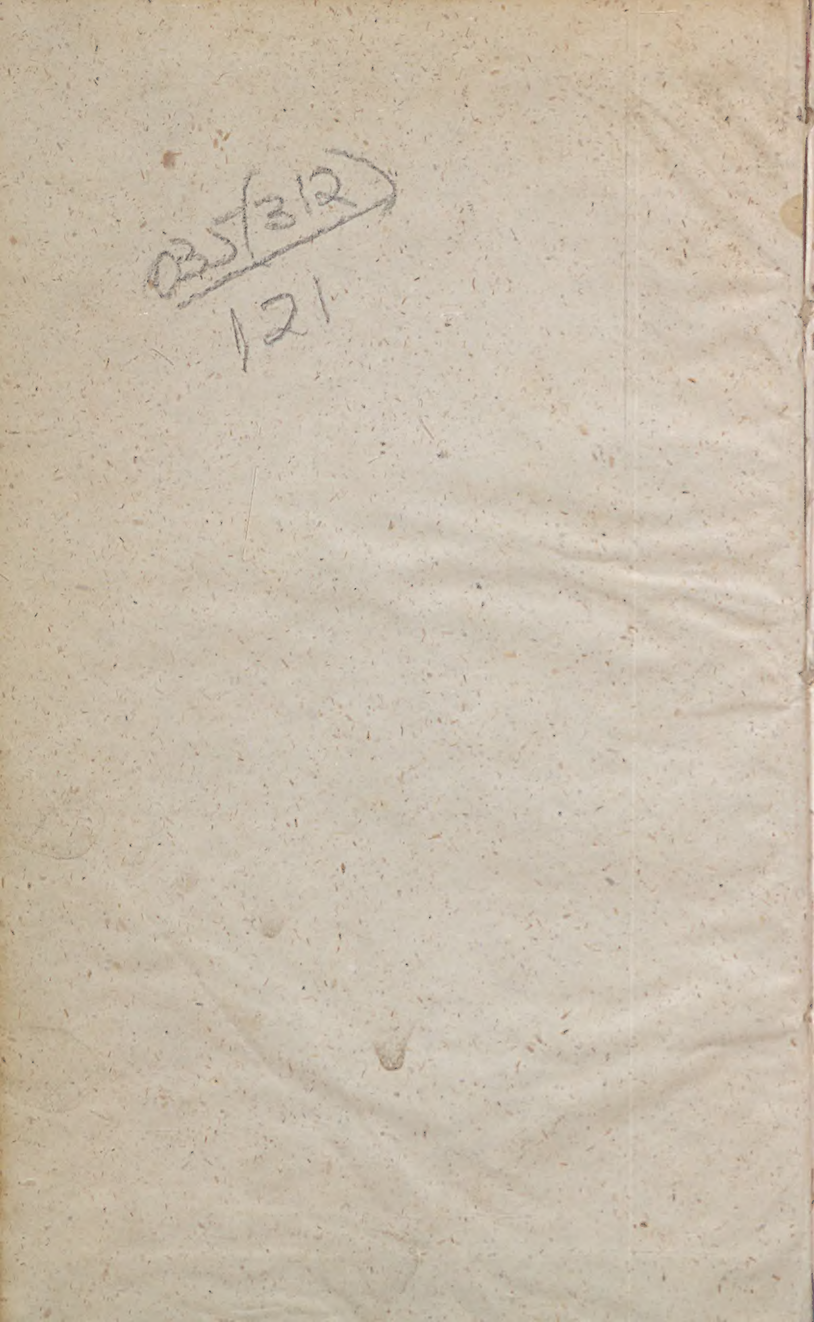

Est 35
n 121






035/312
121

CURSO

ELEMENTAL

DE QUÍMICA

CURSO ELEMENTAL

DE QUÍMICA

PARA EL USO

DE LAS UNIVERSIDADES, COLEGIOS Y ESCUELAS ESPECIALES

ESCRITO EN FRANCÉS

POR

MR. V. REGNAULT

INGENIERO EN JEFE DE MINAS
PROFESOR DEL COLEGIO DE FRANCIA Y DE LA ESCUELA POLITÉCNICA
MIEMBRO DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE PARIS,
CORRESPONSAL DE LAS DE MADRID, BERLIN, SAN PETERSBURGO, ETC

TRADUCIDO

de la segunda y última edicion francesa

AUMENTADO Y PUBLICADO CON LA ANUENCIA Y COOPERACION DEL AUTOR

POR EL TENIENTE CORONEL

DON GREGORIO VERDÚ

CAPITAN DEL CUERPO DE INGENIEROS Y PROFESOR DE SU ACADEMIA
MIEMBRO DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE FRANCIA

TOMO I



PARIS

IMPRENTA DE CRAPELET

CALLE DE VAUGIRARD, NUM. 9

1850

AL

EXCMO. SEÑOR

D. ANTONIO REMON ZARCO DEL VALLE

TENIENTE GENERAL DEL EJÉRCITO
INGENIERO GENERAL, SENADOR DEL REINO
PRESIDENTE
DE LA ACADEMIA REAL DE CIENCIAS DE MADRID
ETC., ETC., ETC.

Ofrece con el mas profundo respeto
esta débil muestra de gratitud

GREGORIO VERDÚ

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR.

La química como ciencia no es muy antigua; apénas un siglo va corrido desde los principales y memorables descubrimientos que puede decirse establecieron sus primeras bases: ademas, siendo su orígen la naturaleza misma, ha debido en épocas sucesivas cambiar de aspecto ó sufrir al menos modificaciones importantes, á medida que los hechos multiplicados y la diversa y dilatada serie de fenómenos naturales han ido revelándose á los genios eminentes, que han sabido sobre aquellos fundar teorías y deducir leyes, con el auxilio poderoso de los medios experimentales. Los progresos rápidos que ha hecho la ciencia en sus primeros períodos, lejos de hallarse hoy dia paralizados en su marcha, continúan sin interrupcion; nuevos descubrimientos se suceden; las investigaciones de los químicos siguen á la par, y su observacion constante suministra continuas y útiles aplicaciones, que dan copioso pábulo á las artes y á la industria, proveyendo á las necesidades de la vida y al bienestar de la sociedad entera.

Asi pues, siendo indudable que la química, por la índole misma de los conocimientos que la forman, requiere una atencion asidua y un estudio no interrumpido para abrazar en su conjunto todas las doctrinas y adelantos numerosos

que diariamente enriquecen su caudal, y que en corto tiempo, tal vez de un año á otro, pueden ocasionar en ella profundas alteraciones; se concebirá la necesidad de proporcionar en nuestro idioma á la juventud estudiosa una obra moderna, que garantida si es dable con el nombre de un autor ilustre, inspire una confianza fundada, y que reasumiendo los trabajos de la ciencia, simplificándolos y ofreciendo otros nuevos, exponga las teorías, describa la práctica de los experimentos de una manera sencilla, clara y metódica, y en su marcha gradual y sistemática prepare y hable á la inteligencia de los alumnos, poniéndoles en el caso de comprender sin esfuerzo sus principios y de seguir con fruto sus progresos.

Sin ser mi intento rebajar el mérito de las obras de química que existian hasta el dia, se me permitirá sin embargo decir que entre las pocas que se han consagrado al objeto especial de la enseñanza, casi ninguna podia llenarlo al presente de un modo satisfactorio. Escritas unas con muchísima extension por querer abrazar de lleno el vasto campo de conocimientos y observaciones que comprende este ramo, y desentrañar al mismo tiempo hasta los mas minuciosos trabajos; otras al contrario, demasiado circunscritas á un objeto ó aplicacion especial; anticuadas las mas, y en algunas desatendidas las formas y verdaderas condiciones que exige un tratado elemental, se echaba menos una obra que reuniese en un cuerpo uniforme de doctrina los principios y aplicaciones realmente útiles, y diese á los jóvenes que emprenden este estudio conocimientos no comunes, infundiendo en su espíritu el hábito de los buenos raciocinios y el de la recta observacion que deben guiarlos en todas las investigaciones de esta clase.

Convencido, pues, de esta necesidad grave y notoria en España, aunque no menos reconocida en otras naciones cultas, no pude vacilar un instante cuando la obra, cuya traduccion presento, vió la luz pública, en darle mi preferencia para que sirviera de texto en la Academia de Ingenieros; porque en mi sentir y en el de personas ilustradas y competentes en la materia, dicha obra llenaba cumplidamente las condiciones apetecidas, satisfaciendo en la presente época á las necesidades de la enseñanza y al interés nuevo que dan á la ciencia los últimos descubrimientos. La acogida extraordinaria que ha merecido, habiéndose casi agotado en poco mas de un año dos numerosas ediciones en francés, cuando á la hora en que escribo su publicacion no ha terminado todavía, y el salir ya traducida en los principales idiomas de Europa, son circunstancias que bastarian por sí solas para probar que mi juicio no podia ser ni parcial ni aventurado, si los profundos trabajos del autor y la reputacion científica de que goza no fueran la garantía mas segura del buen acierto, dando fundado motivo para pensar desde luego que el fruto actual de sus tareas llevaria tambien el sello del esmero y meditacion que acompaña á todas.

Hallándome comisionado en este punto por el Gobierno de S. M. para seguir y estudiar los progresos de las ciencias físicas y químicas, y valiéndome de las buenas relaciones que me ligan con algunas personas esclarecidas en el ramo, particularmente con el autor de esta obra; relaciones que he debido á la solícita y eficaz recomendacion de mi superior Gefe y Presidente actual de la Academia de Ciencias de Madrid, me ha sido dado publicar mi trabajo, hecho, por decirlo así, á la vista del mismo autor, con su cooperacion

y hasta animado por sus reiterados estímulos. Favorecido ademas con el auxilio no escaso que me han prestado profesores hábiles de nuestro país, entre los cuales es deber mio mencionar á D. Vicente Masarnau, se ha podido acomodar en un todo este texto, adoptado ya en la Escuela politécnica de Francia, á la enseñanza en nuestras escuelas; y aun sin alterar su pureza ni traspasar los límites que tiene como tratado elemental, se han ampliado aquellos conocimientos é intercalado ciertas discusiones que he creido útiles para la prosperidad de nuestra patria, que no es la que menos puede sacar abundante fruto del cultivo y adelantamiento de esta parte interesante de las ciencias naturales.

Si con tales medios y con todos mis esfuerzos no llego á obtener el resultado de mi propósito, culpa será de la cortedad de mis alcances, si bien confio en que me servirá de excusa el deseo que me anima de contribuir por mi parte á promover este estudio en nuestro país y á facilitar su enseñanza en el Cuerpo á que me honro de pertenecer.

Paris, 1°. de Diciembre de 1849.

PESOS Y MEDIDAS.

El sistema métrico decimal de pesos y medidas presenta entre otras ventajas, que son ya notorias bajo muchos aspectos, la de hallarse generalmente admitido para los cálculos y aplicaciones numéricas de las ciencias, estableciendo así la debida uniformidad y mas fácil comparacion entre los resultados obtenidos ó que obtengan los sabios de los diferentes países. No hallándonos por otra parte muy distantes de verlo adoptado en España, he creido mas acertado conservar en esta traduccion las medidas francesas, que sustituirlas por las correspondientes españolas, atendiendo ademas á que con tal sustitucion se desfiguran en muchos casos los resultados de ciertos cálculos, que son clásicos en la ciencia, como los que sirven para la determinacion de los equivalentes químicos, y los de otros análisis importantes. Las tablas que van á continuacion indicaran por lo demas la correspondencia de unas medidas con otras, y facilitarán todas las reducciones que pudieran desearse.

MEDIDAS DE LONGITUD.

TABLA I.

CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS MÉTRICAS CON LAS DE ESPAÑA.

Cuarta parte del meridiano terrestre..	10 000 000	metros	35889216	piés.
Grado centesimal...	100 000	»	358892,16	»
Miriámetro........	10 000	»	35889.216	»
Kilómetro..........	1 000	»	3588,9216	»
Hectómetro........	100	»	358,89216	»
Decámetro.........	10	»	35,889216	»
Metro..........	$\frac{1}{10}$	millonés. de $\frac{1}{4}$ del merid. ter.	3,5889216	»
Decímetro	$\frac{1}{10}$	de metro (se escribe $0^m,1$).	4.30670	pulgadas.
Centímetro.......	$\frac{1}{100}$	» (» $0^m,01$).	5,16804	líneas.
Milímetro.........	$\frac{1}{1000}$	» (» $0^m,001$).	0,516804	»

TABLA II.

REDUCCION DE LA MEDIDA MÉTRICA A PUNTOS, LÍNEAS, PULGADAS Y PIÉS DE LA ESPAÑOLA DEL MARCO DE BURGOS, COMPRENSIVA DESDE 1 MILÍMETRO HASTA 10 METROS Ó 1 DECÁMETRO.

MEDIDA MODERNA FRANCESA.				MEDIDA ESPAÑOLA.				
Milímetros.	Centímetros.	Decímetros.	Metros.	Piés.	Pulgadas.	Líneas.	Puntos.	TOTAL de puntos.
1	....	....	....	...	....	....	6,201	6,201
2	....	....	....	....	....	1	0,403	12,403
3	....	....	....	....	...	1	6,604	18,604
4	....	....	....	....	....	2	0,806	24.806
5	....	....	....	....	....	2	7.008	31.008
6	....	....	....	....	....	3	1 209	37,209
7	....	....	....	....	....	3	7.411	43,411
8	....	....	....	....	....	4	1,613	49,613
9	....	....	....	....	....	4	7.814	55,814
	1	....	....	....	...	5	2.016	62,016
	2	....	....	....	....	10	4.033	124.033
	3	....	....	....	1	3	6,049	186,049
	4	....	....	....	1	8	8,066	248,066
	5	....	....	....	2	1	10.083	310,083
	6	....	....	....	2	7	0.099	372.099
	7	....	....	....	3	....	2,116	434,116
	8	....	....	....	3	5	4,132	496.132
	9	....	....	....	3	10	6,149	558,149
		1	....	....	4	3	8,166	620,166
		2	....	....	8	7	4.332	1240,332
		3	....	1	....	11	0.498	1860.498
		4	....	1	5	2	8,664	2480,664
		5	....	1	9	6	4,830	3100,830
		6	....	2	1	10	0 996	3720.996
		7	....	2	6	1	9,162	4341.162
		8	....	2	10	5	5,328	4961,328
		9	....	3	2	9	1.494	5581,494
			1	3	7	....	9,660	6201,660
			2	7	2	1	7,320	12403,320
			3	10	9	2	4.980	18604,980
			4	14	4	3	2.640	24806,640
			5	17	11	4	0,300	31008,300
			6	21	6	4	9,960	37209,960
			7	25	1	5	7,620	43411,620
			8	28	8	6	5,280	49613.280
			9	32	3	7	2,940	55814,940
			10 ó un decámetro...	35	10	8	0,600	62016,600

TABLA III.

CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS ESPAÑOLAS CON LAS MÉTRICAS.

Vara	0,83590	de metro.
Pié	2,78635	decímetros.
Pulgada	2,32196	centímetros.
Línea	1,93496	milímetros.

MEDIDAS DE SUPERFICIE.

TABLA IV.

MEDIDA MODERNA FRANCESA.	MEDIDA ESPAÑOLA.	
Metro cuadrado (centiára)	12,88036112	piés cuadrados.
Decámetro cuadrado (ara)	1288,036112	»
Hectómetro cuadrado (hectara)	128803,6112	»
Kilómetro cuadrado (miriara)	12880361,12	»
	Pulgadas cuadradas.	Líneas cuadradas.
Decímetro cuadrado	18,54772001	2670,871682
Metro cuadrado	1854,772001	267087,1682

MEDIDAS DE CAPACIDAD ó CABIDA.

TABLA V.

CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS MÉTRICAS CON LAS DE ESPAÑA.

Kilólitro	1000 litros	61,97019	de cántaras.
Hectólitro	100 »	6,197019	»
Decálitro	10 »	4,95761	azumbres.
Litro	decímetro cúbico	1,98304	cuartillos.
Decílitro	$\frac{1}{10}$ de litro	0,79321	de copa.

TABLA VI.

CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS ESPAÑOLAS CON LAS MÉTRICAS.

Cántara	1,61367	decálitro.
Azumbre	2,01709	litros.
Cuartillo	0,50427	»

MEDIDAS CUBICAS ó DE VOLÚMEN.

TABLA VII.

RELACION ENTRE LAS MEDIDAS MÉTRICAS Y LAS DE ESPAÑA.

Metro cúbico...........................	46,22661	piés cúbicos.
Decímetro cúbico........................	79,87958	pulgadas cúbicas.
Centímetro cúbico........................	138,03192	líneas cúbicas.

MEDIDAS DE PESO.

TABLA VIII.

CORRESPONDENCIA DE LAS MÉTRICAS CON LAS DE ESPAÑA.

Kilógramo ó kilógrama *..	1000 gramos..........	2,17347	libras.
Hectógramo...........	100 »	3,47755	onzas.
Decágramo..............	10 »	5,56409	adarmes.
Gramo..............	centímetro cúbico....	20,030733	granos.
Decígramo.............	$\frac{1}{10}$ de gramo ó $0^{gr},1$....	2,003073	»
Centígramo............	$\frac{1}{100}$ » ó $0^{gr},01$...	0,200307	»
Milígramo.............	$\frac{1}{1000}$ » ó $0^{gr},001$..	0,02003	»

* Las palabras *kilógramo* ó *kilógrama, gramo* ó *grama*, etc., que todavía no han tenido entrada en el Diccionario de la lengua, se hallan escritas de uno ú otro modo en las diferentes obras ó traducciones españolas.

TABLA VIII.

REDUCCION DEL PESO MODERNO FRANCÉS A GRANOS, ADARMES, ONZAS Y LIBRAS DEL PESO DE CASTILLA, COMPRENSIVA DESDE 1 GRAMO HASTA 10 KILÓGRAMOS.

PESO MODERNO FRANCÉS.				PESO ESPAÑOL.				
Gramos.	Decágramos.	Hectógramos.	Kilógramos.	Libras.	Onzas.	Adarmes.	Granos.	TOTAL de granos.
1	....	....	....	....	....	....	20,0307	20,0307
2	....	....	....	....	....	1	4.0614	40,0614
3	....	....	....	....	....	1	24,0921	60,0921
4	....	....	....	....	....	2	8,1229	80,1229
5	....	....	....	....	....	2	28,1536	100.1536
6	....	....	....	....	....	3	12,1843	120,1843
7	....	....	....	....	....	3	32,2151	140,2151
8	....	....	....	....	....	4	16,2458	160,2458
9	....	....	....	....	....	5	0,2765	180.2765
	1	....	....	....	....	5	20,3073	200,3073
	2	....	....	....	....	11	4,6146	400,6146
	3	....	....	....	1	0	24,9219	600,9219
	4	....	....	....	1	6	9,2293	801.2293
	5	....	....	....	1	11	29,5366	1001,5366
	6	....	....	....	2	1	13,8439	1201,8439
	7	....	....	....	2	6	34,1513	1402,1513
	8	....	....	....	2	12	18,4586	1602,4586
	9	....	....	....	3	1	2,7660	1802,7660
		1	....	....	3	7	23,0733	2003,0733
		2	....	....	6	15	10,1466	4006,1466
		3	....	....	10	6	33,2200	6009,2200
		4	....	....	13	14	20,2933	8012,2933
		5	....	1	1	6	7.3666	10015,3666
		6	....	1	4	13	30,4400	12018,4400
		7	....	1	8	5	17,5133	14021,5133
		8	....	1	11	13	4,5866	16024,5866
		9	....	1	15	4	27,6600	18027.6600
			1	2	2	12	14.7333	20030,7333
			2	4	5	8	29,4666	40061,4666
			3	6	8	5	8.2000	60092,2000
			4	8	11	7	22.9333	80122,9333
			5	10	13	14	21,6666	100153 6666
			6	13	0	10	16,4000	120184,4000
			7	15	3	6	31,1333	140215.1333
			8	17	6	3	9,8666	160245,8666
			9	19	8	15	24,6000	180276.6000
			10	21	11	12	3.3333	200307,3333

TABLA IX.

CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS DE PESO ESPAÑOLAS CON LAS METRICAS.

Libra	4,60093	hectógramos.
Onza	28,75581	gramos.
Adarme	1,79723	»
Grano	4,99233	centígramos.

CURSO

ELEMENTAL

DE QUÍMICA.

INTRODUCCION.

§ 1. Cuando se ponen los diferentes cuerpos de la naturaleza en presencia unos de otros, se manifiestan diversas especies de fenómenos. Unas veces, estos fenómenos se revelan por alteraciones profundas en la constitucion de los cuerpos; otras, por el contrario, los cuerpos adquieren propiedades mas ó menos pasajeras, pero que no alteran en manera alguna su constitucion aparente, ni cambian sensiblemente sus pesos respectivos. Así, cuando se frota una barra de vidrio con un pedazo de paño, se da á esta barra la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como barbas de pluma, pequeños pedazos de papel, etc., etc.; pero la barra de vidrio, miéntras posee esta propiedad, no presenta ninguna alteracion aparente.

Cuando se coloca un iman á una pequeña distancia, ó mejor, en contacto de una barra de hierro dulce, se comunica á este la propiedad de atraer los objetos de hierro; mas esta propiedad desaparece en cuanto se retira el iman.

Si se frota con un iman, no ya una barra de hierro dulce sino de acero, este adquiere la propiedad de atraer los objetos de hierro, aun fuera de la presencia del iman, y conserva dicha propiedad durante largo tiempo.

En estas diversas circunstancias, las barras de vidrio, de hierro y de acero adquieren propiedades nuevas; no han experimentado alteracion *sensible* en su constitucion, y han conservado su mismo peso.

Si se mezclan limaduras de cobre con azufre pulverizado, puede obtenerse una mezcla muy íntima de las dos materias. Sin embargo, cualquiera que sea el estado de tenuidad á que se hayan reducido las partecillas de las dos sustancias, es siempre fácil distinguir, con una lente ó microscopio, las partecillas de azufre de las de

cobre, y se concibe en rigor la posibilidad de realizar mecánicamente su separacion. Pero sometiendo la mezcla á la accion del calor, no tarda en presentarse un fenómeno brillante: hay produccion viva de luz, y desprendimiento considerable de calor. Si despues de efectuado este fenómeno, se observa la masa con el microscopio, se nota que su constitucion ha variado completamente: ya no es posible distinguir las partecillas de cobre de las de azufre: las partículas de los dos cuerpos se han unido íntimamente, se han *combinado*, y constituyen ahora una nueva sustancia enteramente distinta de las que han servido á producirla.

Un pedazo de hierro, abandonado al aire, no tarda en cubrirse de una capa de aspecto de ocre, á la cual se da vulgarmente el nombre de *orin*. Si el pedazo de hierro queda mucho tiempo expuesto al aire húmedo, se trasforma completamente en esta materia parecida al ocre, que no presenta ya ninguna de las propiedades características de aquel metal. Si se ha pesado el pedazo de hierro, cuando estaba intacto, y se determina despues el peso de la materia que resulta de la alteracion, se reconoce que el hierro ha aumentado muy sensiblemente de peso. El metal, en esta circunstancia, se ha combinado con uno de los principios constituyentes del aire, con el oxígeno; se ha combinado igualmente con una parte del agua que existe siempre en el aire en estado de vapor, y el resultado de estas combinaciones es la formacion de una sustancia nueva, diferente en un todo, por sus propiedades, de las que han entrado en su composicion.

Así los diferentes cuerpos de la naturaleza, puestos en presencia ó en contacto, dan lugar á dos clases de fenómenos muy distintos: fenómenos mas ó menos durables que no se revelan por ningun cambio material en su constitucion, y fenómenos que ocasionan por el contrario una alteracion profunda, un cambio completo en la naturaleza y en todas las propiedades de los cuerpos.

La primera clase de fenómenos entra en el dominio de la física: la segunda pertenece á la química. Diremos, pues, *que la* QUÍMICA *es aquella parte de las ciencias naturales, que trata de los fenómenos que se producen en el contacto de los cuerpos, siempre que estos fenómenos ocasionen un cambio completo en la constitucion de los mismos cuerpos.* Pero, como es esencial el que estos cuerpos que hacemos obrar así unos sobre otros, sean con antelacion distintamente definidos, y que las propiedades generales que los caracterizan sean tambien desde luego conocidas; la ciencia química deberá componerse en primer lugar de una parte descriptiva, en que se den las *señas*, por decirlo así, de cada cuerpo: señas en virtud de las cuales nos será posible reconocerlo despues en todas las circunstancias.

§ 2. **Division de los cuerpos en cuerpos simples, y en cuerpos compuestos.** — Los químicos dividen los cuerpos en *simples* y *compuestos*. Los *cuerpos compuestos* son aquellos de los cuales pueden extraerse muchas sustancias, diferentes entre sí por sus propiedades, y diferentes de la sustancia primitiva. Así nuestra sal marina ordinaria puede ser descompuesta en dos sustancias : el cloro y el sodio; el nitro ó salitre puede ser descompuesto en potasa y en ácido nítrico. Estas dos últimas sustancias son ellas mismas cuerpos compuestos; porque de la potasa pueden extraerse potasio y oxígeno, y del ácido nítrico pueden sacarse oxígeno y azoe. Al contrario, el cloro, el sodio, el potasio, el oxígeno y el azoe, sometidos á cuantas reacciones han sido practicables hasta el dia en nuestros laboratorios, no han podido jamas ser descompuestos en otros principios; lo cual ha determinado á los químicos á considerarlos como cuerpos simples.

Se da, pues, el nombre de *cuerpos simples* á las sustancias que, sometidas á las diversas reacciones posibles hasta el dia en nuestros laboratorios, no han sido descompuestas en otras sustancias. No queremos sin embargo afirmar por esto, que dichos cuerpos sean realmente simples : es muy posible que los progresos futuros de la ciencia nos permitan efectuar en adelante descomposiciones que han resistido á nuestros medios actuales; y entónces un cierto número, tal vez todos los cuerpos que tenemos en el dia por simples, deberán considerarse como cuerpos compuestos.

§ 3. **Divisibilidad de la materia.** — La experiencia diaria nos enseña que los cuerpos pueden ser divididos en partículas muy pequeñas. ¿Pero esta divisibilidad de la materia es indefinida? ó ¿se detiene en un cierto límite, desde el cual las partículas son ya realmente inseparables por los medios mecánicos? Los antiguos filosofos debatieron largamente esta cuestion, y con todos sus esfuerzos no lograron resolverla. Las investigaciones de la química moderna han sido mas dichosas, estableciendo de una manera casi incontestable, que la divisibilidad de la materia es limitada. Los químicos admiten que los cuerpos están formados en último análisis de partículas excesivamente ténues, é indivisibles por los medios mecánicos; y á estas partículas dan el nombre de *moléculas* ó de *átomos*. Las moléculas de los cuerpos simples son necesariamente simples; las de los cuerpos compuestos son en sí mismas compuestas, pero todas estas moléculas compuestas son semejantes entre sí y constituidas del mismo modo.

§ 4. **Diferentes estados de los cuerpos.** — Los cuerpos se nos presentan bajo tres estados diferentes : el *estado sólido*, el *estado*

líquido y el *estado gaseoso*. Algunos cuerpos pueden obtenerse en estos tres estados; así el agua, que es líquida á la temperatura ordinaria de nuestros climas, se presenta sólida, bajo la forma de hielo, en los frios rigurosos del invierno; y, sometiéndola á la accion del calor, toma fácilmente el estado de flúido aeriforme ó de vapor. Un gran número de cuerpos pueden observarse en dos estados, el sólido y el líquido; tales son la mayor parte de los metales : el plomo, el estaño, el cobre, la plata, el oro, etc. Algunos, como el hierro y el platino, exigen para pasar del estado sólido al estado líquido las temperaturas mas altas que podemos producir en nuestros hornos. En los últimos tiempos, han llegado á obtenerse, por medio de la pila, temperaturas mucho mas elevadas, y estas temperaturas han bastado para gasificar muchos metales; como el oro, la plata, el cobre, etc.

La mayor parte de las sustancias gaseosas á la temperatura ordinaria pasan al estado líquido, sujetándolas simultáneamente á una fuerte presion y á una temperatura muy baja. Los gases hidrógeno, azoe y oxígeno son los únicos que han resistido hasta el dia á la liquidacion; pero no puede dudarse en manera alguna que estos gases se obtengan líquidos, cuando se empleen medios de compresion mas enérgicos y un enfriamiento mas considerable.

Casi todos los gases liquidados hasta el dia han sido obtenidos en el estado sólido por un enfriamiento grande. Ha bastado para ello disminuir sucesivamente la presion que mantenia al gas liquidado : este tiende entónces á tomar el estado gaseoso, pero como es menester para esto que absorba una cierta cantidad de calor latente, que en el momento de su formacion roba á la parte que queda líquida, la temperatura de esta baja las mas veces lo suficiente para que el líquido se congele.

Puede concluirse de aquí, que todos los cuerpos de la naturaleza serian susceptibles de tomar los tres estados, si se les pusiera en circunstancias favorables de temperatura y de presion. Observaremos, sin embargo, que muchos cuerpos sólidos no pueden ser liquidados, porque se descomponen, sometidos que sean á la accion del calor. Así el carbonato de cal se descompone al calor rojo, dejando desprender uno de sus principios constituyentes, el gas ácido carbónico; y á esta temperatura no ha experimentado la fusion. Pero puede impedirse este desprendimiento del ácido carbónico, encerrando el carbonato de cal en un cañon de fusil, tapado herméticamente; pues entónces experimenta la fusion á una temperatura que no es muy superior á la que producia la descomposicion del cuerpo, cuando se encontraba bajo la presion de la atmósfera.

§ 5. **Fuerza de agregacion ó de cohesion.** — La fuerza que reúne las moléculas similares de un cuerpo simple ó de un cuerpo compuesto, lleva el nombre de fuerza de *agregacion* ó de *cohesion*. Esta fuerza es muy grande en los cuerpos sólidos, casi insensible en los líquidos, y completamente nula en los flúidos elásticos. En estos últimos, por el contrario, las partículas se repelen, y no son mantenidas á sus distancias actuales, sino por las presiones que se ejercen contra las paredes del recinto que encierra al flúido.

§ 6. **Afinidad química.** — La fuerza que reúne las moléculas simples, constituyendo una molécula de un cuerpo compuesto, recibe el nombre de *afinidad química*. En virtud de esta fuerza, las moléculas de los cuerpos simples se combinan para formar los compuestos. La afinidad química varía mucho, segun las circunstancias en que pueden encontrarse los cuerpos; y no se ejerce fácilmente entre dos cuerpos sólidos, porque el contacto de las moléculas no puede ser del todo perfecto. Para que la afinidad química pueda ejercerse libremente, es menester que los cuerpos estén desagregados, y esta desagregacion no se obtiene sino de una manera incompleta por la pulverizacion mecánica: es necesario, pues, hacer que pasen al estado líquido ó gaseoso. Los antiguos químicos expresaban este hecho diciendo: *Corpora non agunt, nisi soluta*. En muchos casos basta que uno solo de los cuerpos sea reducido al estado líquido ó gaseoso.

La afinidad química entre dos cuerpos es tambien muy variable segun la temperatura. Así la cal y el ácido carbónico se combinan fácilmente á la temperatura ordinaria para formar carbonato de cal, y el carbonato de cal se descompone al calor rojo, dejando que se desprenda su ácido carbónico. A la temperatura ordinaria, la afinidad química entre la cal y el ácido carbónico es considerable; miéntras que, á la temperatura del calor rojo, esta afinidad es nula.

§ 7. **Ley de las proporciones múltiplas** *. — Cuando dos cuerpos simples A y B se combinan, 1 molécula de A se combinará con 1, 2, 3, 4,... moléculas de B, ó bien, 2 moléculas de A con 1, 2, 3, 4, 5, 7,... moléculas de B, ó en fin, 3 moléculas de A podrán combinarse con 5, 7.... moléculas de B, y así sucesivamente. Es evidente, segun esto, *que en las diversas combinaciones que pueda formar una sustancia* B *con el mismo peso de otra sustancia* A, *las cantidades ponderables de la sustancia* B *se hallarán entre sí en relaciones racionales y comensurables*. Este hecho, que ha sido perfectamente demostrado por la experiencia, es la prueba que principalmente aducimos para establecer la divisibilidad limitada de la materia, y la

* Dalton fué el primero que enunció esta ley en 1807

existencia de moléculas indivisibles. La experiencia demuestra aun, que las relaciones mas simples son tambien las que se presentan con mas frecuencia; y así en los cuerpos compuestos se encuentran ordinariamente las relaciones de 1 : 2, de 1 : 3, de 1 : 4, de 1 : 5, ó bien las de 2 : 3, de 2 : 5, de 2 : 7. Esta ley, que determina las relaciones segun las cuales dos cuerpos se combinan, lleva el nombre de *ley de las proporciones múltiplas*. Hemos de ver en adelante, conforme vayamos estudiando los cuerpos compuestos, la serie de experimentos que establecen esta ley de una manera incontestable.

§ 8. **Diferentes caractéres físicos y organolépticos que sirven para especificar los cuerpos.**— Nos valemos para especificar los cuerpos, ó para distinguirlos entre sí, de diversos caractéres fundados, ya en sus apariencias ó propiedades físicas, ya en las impresiones que producen sobre nuestros órganos. Los primeros se llaman *caractéres físicos*, y los segundos han recibido el nombre de *caractéres organolépticos.*

Los principales caractéres físicos de que se sirven los químicos para especificar los cuerpos son los siguientes :

1° Sus diversos estados, es decir, las condiciones de temperatura y de presion en que los cuerpos se presentan bajo el estado sólido, líquido ó gaseoso;

2° Su color en estos diversos estados;

3° La naturaleza de su brillo ó lustre, el cual puede ser especificado por comparacion. Así se dice : *brillo metálico, lustre resinoso, vítreo*, etc.;

4° Su dureza mas ó menos grande, si el cuerpo se encuentra en el estado sólido, y su fluidez mas ó menos perfecta, cuando es líquido;

5° Su peso específico ó densidad, es decir, el peso de la unidad de volúmen del cuerpo;

6° Las formas regulares ó cristalinas que el cuerpo afecte;

7° El aspecto que ofrece la fractura reciente del cuerpo, cuando es sólido. Así se dice : *fractura vítrea, cristalina, laminar, hojosa, granular*, etc.

Los caractéres organolépticos se reducen á las impresiones que causa el cuerpo sobre los órganos del gusto, del olfato y del tacto; así se indica por comparacion el sabor y el olor del cuerpo, y se dice que el cuerpo es áspero ó craso al tacto, etc., etc.

Entre los caractéres físicos que acabamos de enumerar, hay algunos que son susceptibles de una medida numérica y precisa, y por esta causa tienen un gran valor en la definicion del cuerpo. Tales son : su peso específico, y las temperaturas á que cambia de estado. La determinacion rigurosa de sus formas cristalinas propor-

ciona igualmente uno de los caractéres mas esenciales, y el estudio de estas formas tiene mucha importancia en nuestras clasificaciones de los cuerpos y en las teorías químicas modernas.

§ 9. **De las formas cristalinas.**— Cuando se observan superficialmente los diferentes cuerpos sólidos que la naturaleza nos ofrece, pudiera creerse á primera vista que su forma exterior no presenta nada de regular, y que puede variar al infinito. Pero, sometiendo estos cuerpos á un estudio mas detenido, se advierte que la mayor parte de ellos son susceptibles de tomar, en ciertas circunstancias, formas regulares* que son perfectamente semejantes en los diversos individuos de una misma sustancia. Hay mas: la mayor parte de las sustancias, que aparecen á nuestra vista bajo formas exteriores irregulares, presentan en su fractura reciente indicios evidentes de una textura regular ó cristalina; por manera, que la masa total del cuerpo no es mas que una agregacion de infinidad de pequeños cristales engastados los unos en los otros. Estos cristales rudimentarios son por lo comun tan pequeños, que no podemos llegar á percibirlos sino observando la fractura con una lente ó microscopio; de donde puede inferirse, que existen todavía cristales mucho mas pequeños, que se escapan á nuestros medios de observacion.

La textura cristalina de los cuerpos, lejos de ser un caso excepcional, es en muchos de ellos el caso mas general.

La mayor parte de las sustancias, que preparamos en nuestros laboratorios, son susceptibles de *cristalizar*, es decir, de tomar formas geométricas regulares; y observamos que, cuando esta operacion se efectúa en *circunstancias idénticas*, las formas de los diversos individuos cristalinos son perfectamente semejantes entre sí; hasta el punto de poder dichas formas suministrar uno de los caractéres mas precisos para distinguir unas de otras las sustancias cristalizadas.

Las formas cristalinas que afectan los diferentes cuerpos de la naturaleza, parecen á primera vista variables al infinito; pero un estudio profundo sobre ellas ha dado á conocer algunas leyes generales á que dichas formas se sujetan, y que limitan considerablemente su número.

La consideracion de las formas cristalinas de los cuerpos ocupa ya un lugar importante en nuestras teorías químicas, y esta importancia llegará á ser mayor todavía, cuando la ciencia cristalográfica se halle mas difundida, y los químicos se dediquen á determinar con precision las formas cristalinas de los cuerpos que estudien. Nos ha

*Los trabajos interesantes de Bergmann, de Romé de Lisle y de Hauy son los que principalmente han contribuido á fundar la ciencia de la cristalografía.

parecido conveniente exponer aquí los principios de esta ciencia, que por otra parte no exigen del lector mas conocimientos que los de la geometria elemental.

PRINCIPIOS DE CRISTALOGRAFÍA.

§ 10. Las formas cristalinas están terminadas por caras planas; y en general á cada cara plana corresponde otra en el cristal que le es rigurosamente paralela; al menos cuando el cristal se halla aislado y regularmente terminado en todo su contorno. Los cristales se presentan por lo regular agrupados, penetrándose mútuamente, ó bien, engastados en una masa sólida; de tal manera, que no se descubre mas que la mitad, ó se ve solamente una cúspide del cristal. Es difícil por lo mismo, en la mayor parte de los casos, comprobar la proposicion que acabamos de enunciar, relativa al paralelismo de las caras de dos en dos; pero, de los cristales que se presentan de este modo, no existe casi ninguno que haya dejado de encontrarse aislado y completo, y en este caso se verifica la proposicion anterior. Fundados pues en la analogía, podemos suponer que seria lo mismo para todos los cristales, y en general representarlos completos en todo su contorno.

§ 11. Los cristales tienen siempre ángulos salientes, y jamas ángulos entrantes. Cuando se observa la reunion de un gran número de cristales, por ejemplo, los que tapizan la cavidad de una roca, que los mineralogistas llaman *geoda de cristales;* ó bien, cuando se observa una cristalizacion obtenida en nuestros laboratorios, se notan muchos ángulos entrantes, lo cual al parecer se opone á la proposicion que antecede; pero estos ángulos entrantes son producidos por la reunion de los cristales individuales, y nunca se advierten en un individuo cristalino aislado.

§ 12. **Facetacion.** — Las sustancias cristalizadas no se parten con igual facilidad en todos sentidos; y en general sus fracturas se verifican segun caras planas. Estas fracturas segun caras planas pueden reproducirse hasta el infinito sobre un mismo cristal, paralelamente á sí mismas, de suerte que la materia puede ser dividida en una infinidad de láminas de caras paralelas. Esta especie de fractura se llama *fractura laminosa.* Hace mucho tiempo que los lapidarios conocen esta propiedad de los cristales, y la utilizan para tallar las piedras preciosas. Así el diamante presenta una fractura laminosa en cuatro sentidos diferentes; y los lapidarios sacan partido de ella para separar por la division mecánica las partes defectuosas, y abreviar considerablemente el trabajo de la talla del diamante. A

esta operacion llamaremos *facetacion del diamante*; y *planos de facetacion*, á las caras paralelas que la division mecánica produce sobre un cristal. Este puede ser facetable en varias direcciones, lo cual se expresaria diciendo, que presenta *muchas facetaciones* ó *muchos planos de facetacion*. Algunos de estos se descubren muy fácilmente por la division mecánica, aun cuando esta se dirija al acaso; otros no se manifiestan sino tomando mas precauciones, y aun frecuentemente son muy imperfectos. El carbonato de cal, por ejemplo, presenta tres planos de facetacion, igualmente fáciles, formando entre sí ángulos de 105° 5′, por cuya causa la sustancia se parte siempre en fragmentos romboédricos. El sulfato de cal presenta tambien tres planos de facetacion, pero uno de ellos es mucho mas fácil que los otros dos; de donde resulta que el cristal tiene una tendencia á dividirse en láminas, y por medio de una lanceta pueden en efecto separarse láminas de una delgadez extrema. Si se rompen estas láminas entre los dedos, los otros planos aparecen inmediatamente, y dan lugar á láminas paralelográmicas.

§ 13. **Sólido de facetacion.** — La reunion de los planos de facetacion constituye una forma geométrica, constante en todos los individuos de una misma sustancia cristalizada; y esta forma se llama *sólido de facetacion*.

§ 14. **Aristas del cristal.** — Se llaman *aristas* de un cristal las líneas segun las cuales sus caras se cortan. Se distinguen en *aristas agudas* y *aristas obtusas*, segun que las caras que determinen estas aristas formen entre sí un ángulo agudo ú obtuso.

§ 15. **Angulos de un cristal.** — Tres ó mayor número de caras que se reúnan en un punto, forman un ángulo sólido, que los mineralogistas llaman simplemente un ángulo del cristal, si bien esta denominacion es impropia. Se clasifican los ángulos segun el número de sus caras; así se dice: ángulo de 3 caras (fig. 1); ángulo de 4 caras (fig. 2); ángulo de 6 caras (fig. 3); etc., etc.

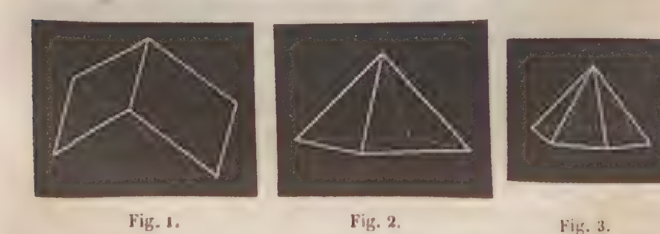


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

§ 16. **Formas simples y formas compuestas.** — Algunas veces

los cristales no están terminados sino por caras semejantes entre sí. Tales son: el octaedro regular formado por 8 triángulos equiláteros (fig. 4); el exaedro regular ó cubo, que está terminado por 6 cuadrados (fig. 5); el dodecaedro exagonal formado de 12 triángulos isóceles (fig. 6). Estas formas se llaman *formas simples*.



Fig. 4.

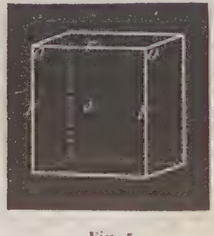


Fig. 5.



Fig. 6.

Se da el nombre de *formas compuestas* á las que contienen caras de especies diferentes. La figura 7 representa una forma compuesta; y la constituyen 6 caras cuadradas y 8 triángulos equiláteros. La figura 8 es igualmente una forma compuesta, y está formada de 6 caras rectangulares y de 12 triángulos isóceles.

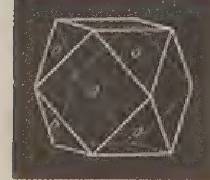


Fig. 7.

Fig. 8.

Si en un cristal compuesto se conciben todas las caras de una misma especie prolongadas hasta que desaparezcan las caras de la otra especie, se obtiene una forma simple. Prolongando las caras triangulares de la figura 7, se tendrá el octaedro regular (fig. 4). Si se prolongan al contrario las caras cuadradas hasta que desaparezcan las caras triangulares, se obtiene el exaedro (fig. 5).

Se ve, segun esto, que las formas compuestas resultan de la combinacion de otras tantas formas simples, como caras hay de especies diferentes en estas formas compuestas; y así podrá llamarse la forma compuesta de que acabamos de hablar (fig. 7), una *combinacion del octaedro y del exaedro*.

Sucede con frecuencia, que prolongando las caras de la misma especie de un cristal compuesto, se obtiene una forma ilimitada que no puede por sí sola terminar un cristal. Por ejemplo, suponiendo prolongadas las 6 caras rectangulares de la

figura 8, se obtiene un prisma regular de 6 caras indefinidas. Si, por la inversa, se prolongan las 12 caras triangulares, resulta un sólido cerrado, el dodecaedro exagonal (fig. 6).

Es claro que las caras que dan lugar á un sólido ilimitado no podrán por sí solas formar un cristal, y se presentarán siempre en combinacion, ya con caras que prolongadas den un sólido cerrado, ya con caras que por su prolongacion engendren formas abiertas ó indefinidas.

§ 17. **Formas dominantes y formas secundarias.** — Generalmente una de las formas simples que constituyen un cristal compuesto, se halla mas desarrollada que las otras, y da al cristal su aspecto general: esta forma toma entónces el nombre de *forma dominante*, miéntras las otras formas que entran en la combinacion reciben el de *formas secundarias*, y á sus caras se las llama *caras modificantes*. Así las figuras 9 y 10 representan combinaciones del octaedro con el exaedro; pero en la figura 9, las caras o pertenecientes al octaedro están mucho mas desarrolladas que las facetas *a* que pertenecen al exaedro, y dan al cristal un aspecto octaédrico: se dirá que su forma es un *octaedro modificado por las caras del cubo*. Por el contrario, la figura 10 presenta el aspecto del cubo dominante, y se llamará *exaedro modificado por las caras del octaedro*.

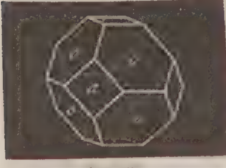


Fig. 9.

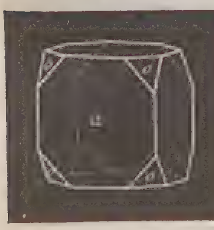


Fig. 10.

§ 18. **Truncaduras.** — Cuando en una combinacion de muchas formas simples, una arista de la forma dominante es reemplazada por una cara paralela á esta arista, como en la figura 11, se dice que la arista está *truncada*, y la cara modificante se llama *cara ó faceta de truncadura de la arista*. Esta cara de truncadura puede hallarse igualmente inclinada sobre las dos caras de la forma dominante que contienen la arista truncada; y se dice entonces que la truncadura es *recta ó tangente*: este es el caso de la figura 11. En el caso contrario, se dice que la truncadura es *oblicua*.

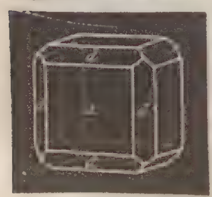


Fig. 11.

Los ángulos de la forma dominante se encuentran frecuentemente truncados, y las caras de truncadura son *rectas* ú *oblicuas*, segun

las inclinaciones de estas caras sobre las de la forma dominante que determinan el ángulo sean iguales ó desiguales. La figura 9 representa el octaedro regular, cuyos ángulos están truncados por las caras del exaedro; y la figura 10 hace ver un exaedro, cuyos ángulos son truncados por las caras del octaedro. En las dos figuras las truncaduras son rectas.

Cuando una cara de truncadura oblicua de un ángulo se encuentra igualmente inclinada sobre las dos caras que forman una de las aristas de este ángulo, se dice que la truncadura *insiste simétricamente* sobre esta arista; así en la figura 11, la cara de truncadura se halla igualmente inclinada sobre las dos caras, é *insiste simétricamente* sobre la arista. En el caso contrario, se dice que *insiste oblicuamente* sobre la arista.

Se dice aun, que una cara de truncadura *insiste simétricamente sobre una cara* de la forma dominante, cuando la línea de interseccion de estas dos caras forma ángulos iguales con las dos aristas adyacentes de la cara dominante: por el contrario, se dirá que *insiste oblicuamente* sobre esta cara, cuandó dichos ángulos sean desiguales.

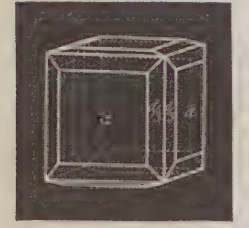


Fig. 12.

§ 19. **Biseles.** — Las aristas de la forma dominante suelen ser reemplazadas por dos caras paralelas á estas aristas, é igualmente inclinadas sobre las caras contiguas; y diremos en este caso que la arista es reemplazada por un *bisel*. Esto es lo que sucede en la figura 12, en que las aristas del exaedro son reemplazadas por biseles.

§ 20. **Apuntamientos.** — Un ángulo de la forma dominante se encuentra con frecuencia reemplazado por otro ángulo mas obtuso: decimos entónces que se ha formado un *apuntamiento* sobre el ángulo. Algunas veces, las facetas del apuntamiento son iguales en número á las caras que forman el ángulo primitivo, como en la figura 13; y otras, no son mas que la mitad, como en la figura 14. Las facetas del apuntamiento insisten simétricamente, ya sobre las caras (fig. 13), ya sobre las aristas del ángulo (fig. 14).

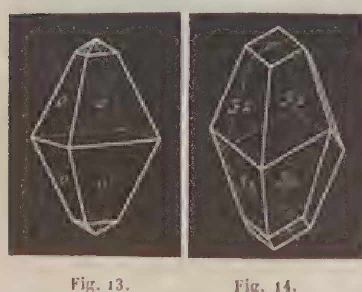


Fig. 13. Fig. 14.

§ 21. **Centro del cristal.** — En un cristal cualquiera, simple ó compuesto, existe un punto tal, que toda recta que pasa por él, y se termina en las caras del cristal, es dividida por este punto en dos partes iguales. Dicho punto se llama *centro del cristal*.

§ 22. **Ejes del cristal.** — Existen en todas las formas simples, ciertas líneas que pasan por el centro del cristal, y al rededor de las cuales se disponen las caras simétricamente; se da á estas líneas el nombre de *ejes del cristal*. Algunas veces el cristal presenta muchos sistemas de ejes, tal es el exaedro regular. Si se unen en efecto por medio de rectas los centros de las caras opuestas (fig. 15), se tendrán tres líneas rectangulares que gozarán de la propiedad enunciada, y serán por consiguiente ejes del cristal. Se obtiene un segundo sistema de ejes, uniendo los ángulos opuestos (fig. 16), lo que da un sistema de 4 ejes, que forman entre sí ángulos de 70° 32′; por último, si se unen de dos en dos los puntos medios de las aristas opuestas (fig. 17), se tendrá un sistema de 6 ejes, que comprenderán entre sí ángulos de 60°. Todos los ejes del exaedro que forman parte de un mismo sistema, son iguales entre sí.

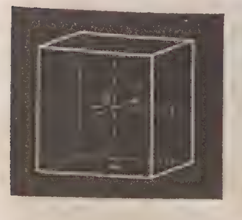


Fig. 15.

Fig. 16.

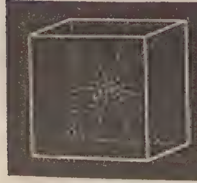


Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.

En el dodecaedro exagonal (fig. 18), se obtienen los ejes, uniendo los ángulos opuestos: se encuentra así un sistema de 3 ejes horizontales, iguales y formando entre sí ángulos de 60°, y un eje único vertical, perpendicular al sistema de los otros tres.

En el octaedro oblicuo cuya base sea un rombo (fig. 19), los ejes son aun líneas que unen los ángulos opuestos: los ejes de esta figura son desiguales los tres, y oblicuos entre sí.

§ 23. **Colocacion del cristal.** — Para estudiar con mas facilidad

las diversas formas cristalinas, es útil dar á los cristales una posicion determinada, y se ha convenido en colocarlos de manera que uno de sus ejes sea vertical. Así, para el exaedro, se adopta ordinariamente por sistema de ejes, el de tres rectangulares que unan los centros de las caras opuestas. Como estos tres ejes son perfectamente semejantes entre sí, es claro que no hay razon ninguna para elegir uno de ellos, y cualquiera que sea el que se coloque en la direccion vertical, la figura presentará exactamente el mismo aspecto.

Cuando en el sistema de ejes de una figura cristalina se halla un eje único que no tenga otro análogo en el mismo sistema, se elige siempre dicho eje para ponerlo en la direccion vertical, y se le da el nombre de *eje principal*, llamando á los demas *ejes secundarios*. El dodecaedro exagonal (fig. 18) está colocado de modo que su eje único sea vertical.

En el octaedro de base romboidal (fig. 19), que presenta tres ejes desemejantes, puede elegirse uno cualquiera de ellos por eje principal, y darle la posicion vertical; pero es conveniente, cuando se ha elegido uno de estos ejes, conservarlo durante todo el exámen del cristal.

La direccion de los ejes secundarios tampoco debe quedar arbitraria, cuando quieran estudiarse los diversos cristales que presenta una misma sustancia. En todas nuestras figuras los cristales serán colocados de manera que uno de los ejes secundarios se halle dirigido segun el plano de la figura.

§ 24. **Definicion de los sistemas cristalinos.** — Un estudio detenido sobre las diversas formas compuestas que nos presenta el reino mineral, ha hecho conocer que las formas simples no pueden combinarse entre sí de una manera arbitraria. *Nunca se encuentran sobre un mismo cristal otras formas simples que las que tienen sistemas de ejes idénticos.*

Así hallamos frecuentes combinaciones entre el cubo y el octaedro regular, y del mismo modo vemos al romboedro combinado con el prisma regular de 6 caras; pero no se presenta jamas el romboedro, ó el prisma de 6 caras, en combinacion con el octaedro regular ó con el cubo. El romboedro y el prisma regular de 6 caras tienen un sistema de ejes, compuesto de 3 ejes semejantes formando entre sí ángulos de 60°, y situados en el mismo plano, y un cuarto eje perpendicular á los otros tres; al paso que en el cubo y en el octaedro regular no se encuentra ningun sistema de ejes análogo.

Se da el nombre de *sistema cristalino* á la reunion de diferentes formas que tienen sistemas de ejes semejantes.

Los cristalógrafos han distinguido seis sistemas cristalinos :

1° El primer sistema, ó sistema cristalino regular, es caracterizado por 3 ejes semejantes y perpendiculares entre sí ;

2° El segundo sistema, por 3 ejes perpendiculares, pero 2 de ellos solamente son semejantes entre sí ;

3° El tercer sistema cristalino por 4 ejes, de los cuales 3 son semejantes, dispuestos en el mismo plano, y cortándose bajo ángulos de 60°; el cuarto eje es de especie diferente, y perpendicular al sistema de los otros tres ;

4° El cuarto sistema cristalino es caracterizado por 3 ejes desemejantes, aunque perpendiculares entre sí ;

5° El quinto sistema por 3 ejes desemejantes : 2 de estos ejes son oblicuos entre sí, y el tercero perpendicular al sistema de los otros dos.

6° El sexto sistema cristalino es caracterizado por 3 ejes desemejantes, oblicuos entre sí.

Vamos á recorrer sucesivamente las principales formas cristalinas que constituyen estos diferentes sistemas.

1° *Sistema cristalino regular.*

§ 25. Las formas de este sistema son caracterizadas por 3 ejes semejantes, perpendiculares entre sí. Se encuentran aun en estas formas otros sistemas de ejes, como lo hemos visto anteriormente ; pero no introducen ninguna consideracion nueva, y el sistema cristalino regular se halla completamente definido por los tres ejes rectangulares semejantes, que serán los únicos que consideraremos.

Las principales formas simples pertenecientes á este sistema son :

1° El *octaedro regular* (fig. 20), formado de 8 triángulos equiláteros; las aristas son iguales; los ángulos sólidos son iguales y de 4 caras. Los ángulos diedros de las caras son de 70° 32′.



Fig. 20

Los ejes rectangulares unen los ángulos opuestos, y cada cara corta los tres ejes en longitudes iguales. Resulta de aquí, que si se designa por a la longitud de estos ejes, comprendida entre el centro del cristal y el punto en que cada uno encuentra á las caras, podrá definirse la cara del octaedro diciendo, que es aquella que corta los tres ejes rectangulares en lon-

gitudes iguales á a. Se ha convenido en representar esta cara por la fórmula

$$(a : a : a)$$

que expresa la condicion de igualdad de los tres ejes.

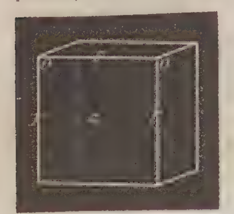
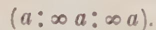


Fig. 21.

2° El *exaedro* ó *cubo* (fig. 21), formado de 6 caras cuadradas: los tres ejes rectangulares unen los centros de las caras opuestas: cada cara es perpendicular á uno de los ejes y paralela á los otros dos, de modo que puede representarse cada una de dichas caras, y consiguientemente todo el exaedro, por la fórmula



$$(a : \infty a : \infty a).$$

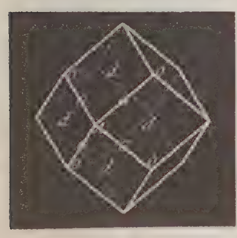


Fig. 22.

3° El *dodecaedro* (fig. 22), formado de 12 rombos, cuyos ángulos son de 109° 28′, y de 70° 32′.

Los ángulos son de dos especies: 6 ángulos A de 4 caras, correspondientes por su posicion á los ángulos del octaedro, y 8 ángulos O de 3 caras, correspondientes á los del exaedro. Cada cara del dodecaedro es paralela á un eje octaédrico, y corta los otros dos en longitudes iguales; pueden en consecuencia representarse estas caras por medio de la fórmula

$$(a : a : \infty a).$$

4° El *tetraedro* (fig. 23 y 24), formado de 4 caras que son triángulos equiláteros. Puede hacerse derivar este sólido del octaedro regular, suponiendo que las caras alternativas del octaedro se prolonguen hasta que desaparezcan las caras intermedias. Segun se haga desaparecer uno ú otro sistema de caras alternativas, se obtendrán dos tetraedros (fig. 23 y 24) perfectamente iguales, aunque se distinguirán entre sí por su posicion.

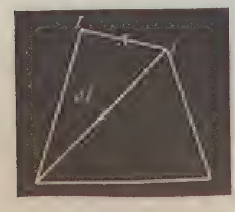


Fig. 23.

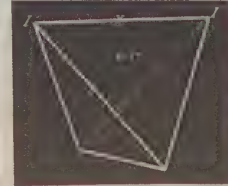


Fig. 24.

Atendiendo á esta generacion del tetraedro, se ha dado á esta forma el nombre de *hemioctaedro*.

5° El *tetrakisexaedro*, ó *exaedro piramidal* (fig. 25): sólido de 24 caras, cuyo aspecto general es el de un exaedro sobre cuyas caras se hubieran colocado pirámides cuadrangulares.

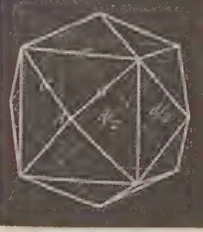



Fig. 25.

Por lo regular la altura de estas pirámides, que insisten sobre las caras del exaedro, es igual á la mitad del eje de este último. Sin embargo, la relacion entre la altura de las pirámides y el eje del exaedro suele ser á veces mas complicada, pero comunmente está representada por una fraccion racional muy sencilla. Así encuéntranse las relaciones $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$.

Fig. 26.

Si se suponen prolongadas las caras alternativas del tetrakisexaedro hasta que desaparezcan las caras intermedias, se obtiene una forma de 12 caras pentagonales, el *dodecaedro pentagonal* (fig. 26), que tambien puede llamarse *hemi-tetrakisexaedro*, atendida su generacion. Es claro que un mismo tetrakisexaedro puede dar dos hemi-tetrakisexaedros, segun se prolonguen uno ú otro de los dos sistemas alternativos de caras. Estas dos formas serán perfectamente iguales entre sí, y solo diferirán en la direccion de sus caras.

6° El *triakisoctaedro* ú *octaedro piramidal* (fig. 27): sólido de 24 caras, que ofrece el aspecto general de un octaedro regular, sobre cuyas caras se hubiesen colocado pirámides triangulares.

Así como existen muchos tetrakisexaedros que presentan relaciones diferentes entre las alturas de las pirámides y las longitudes de los ejes, existen igualmente muchos triakisoctaedros, en los que las relaciones entre las alturas de las pirámides y los ejes están siempre representadas por fracciones muy sencillas, tales como $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$.



Fig. 27.

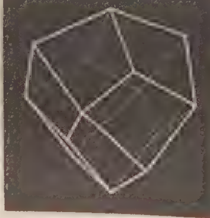


Fig. 28

Prolongando las caras alternativas del triakisoctaedro, se obtiene una forma he-

miédrica (fig. 28), el hemi-triakisoctaedro; pero hasta ahora solo se ha presentado esta forma muy rara vez.

7° El *ikositetraedro* (fig. 29): sólido de 24 caras, 48 aristas y 26 ángulos. Se obtiene esta forma, suponiendo que los ángulos sólidos del octaedro regular sean reemplazados por pirámides de 4 caras mas obtusas, como lo demuestra la figura 30, y suponiendo despues las caras de estas pirámides prolongadas de manera que desaparezcan completamente las del octaedro. La relacion entre la altura de estas pirámides y la longitud de los ejes del octaedro puede ser variable: y por lo tanto pueden existir muchos ikositetraedros; mas esta relacion se halla siempre representada por una fraccion racional y sencilla: se han encontrado hasta el dia las relaciones $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$.

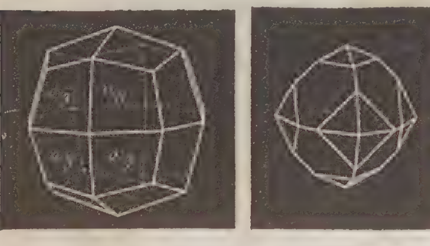


Fig. 29. Fig. 30.

Los ikositetraedos se presentan muy raras veces en los cristales, y los citamos solamente para recordar esta forma.

§ 26. **Formas compuestas del sistema cristalino regular.**— Las formas simples que acabamos de enumerar dan lugar, por su combinacion, á un gran número de formas compuestas, de las que indicaremos las principales.

Las figuras 31, 32 y 33 representan tres combinaciones del octaedro regular y del exaedro, en las cuales las caras del octaedro se marcan por *o* y las del exaedro por *a*.

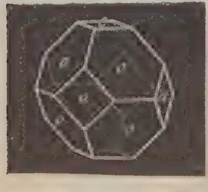


Fig. 31.

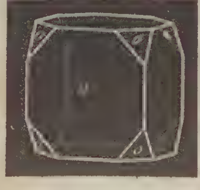


Fig. 32.

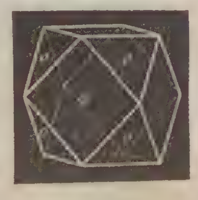


Fig. 33.

En la figura 31, las caras del octaedro son dominantes; lo contrario sucede en la figura 32, en que dominan las del exaedro; y en la figura 33, las dos formas se encuentran igualmente desarrolladas: esta última combinacion ha recibido el nombre de *cubo-octaedro*.

Las figuras 34 y 35 nos ofrecen combinaciones del dodecaedro y del octaedro. En la figura 35, dominan las caras *o* del octaedro, miéntras en la figura 34, las caras dominantes son las *d* del dodecaedro.

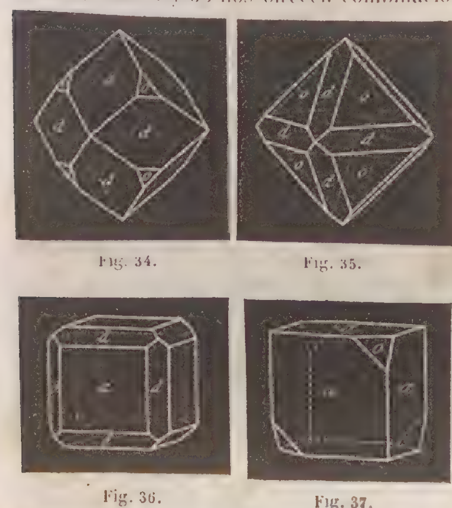


Fig. 34. Fig. 35.

Fig. 36. Fig. 37.

En la figura 36, encontramos una combinacion del exaedro con el dodecaedro, dominando el exaedro *a*.

La figura 37 nos indica una combinacion del exaedro dominante con el tetraedro, y se ve que, de los 8 ángulos sólidos del exaedro, 4 solamente están truncados por las caras *o* del tetraedro ó hemioctaedro. En esta combinacion se encuentra una excepcion de la ley que hemos enunciado (§ 40); á saber, que en todo cristal terminado regularmente en su contorno, una cara cualquiera tiene siempre otra sobre el mismo cristal que le es paralela. En la combinacion del exaedro con el tetraedro, las facetas *o* de este último no tienen facetas paralelas sobre los ángulos opuestos del exaedro.

La figura 38 hace ver la combinacion de dos tetraedros, que se obtienen prolongando los dos sistemas de caras alternativas de un mismo octaedro.

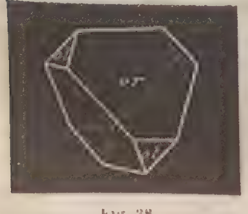


Fig. 38.



Fig. 39.

Las formas que preceden resultan solamente de la combinacion de dos formas simples del sistema regular, pero se encuentran á veces formas compuestas mas complicadas, resultantes de la combinacion de tres o de un número mayor de formas simples. Así la figura 39

representa una combinacion del exaedro *a* dominante, con el octaedro *o* y el dodecaedro *d*.


Fig. 40.

La figura 40 es una combinacion del exaedro *a* dominante, con el dodecaedro *d* y el tetraedro *o*.

2° *Segundo sistema cristalino.*

§ 27. Las formas que pertenecen á este sistema son caracterizadas por 3 ejes rectangulares, 2 semejantes entre sí, y el tercero desemejante. Elegimos el eje único por eje principal, y colocamos el cristal de modo que este eje único sea vertical. La relacion de magnitud entre el eje principal y los ejes secundarios puede variar al parecer de un modo arbitrario : en general, esta relacion es complexa é irracional.

En el sistema cristalino regular, los 3 ejes son semejantes, y las caras se hallan dispuestas simétricamente con respecto á los 3 ejes. No sucede lo mismo con el segundo sistema cristalino, en el cual son semejantès los 2 ejes secundarios : las caras están dispuestas simétricamente al rededor de estos 2 ejes, pero lo están de diferente modo que con respecto al eje principal. Hállanse aun en este sistema caras perpendiculares al eje principal, que no tienen sus análogas sobre los 2 ejes secundarios; de la misma manera, encuéntranse caras perpendiculares sobre los 2 ejes secundarios, que no tienen necesariamente sus análogas sobre el eje principal. Estas caras producirán en consecuencia prismas abiertos, que no pueden por sí solos terminar un cristal. Nada parecido ha podido observarse en el sistema cristalino regular.

Formas simples del segundo sistema cristalino.— *Octaedros de base cuadrada* (fig. 41). Las caras de estos octaedros son triángulos isósceles; sus aristas son de dos especies : 8 aristas terminales D, convergentes hácia el eje principal CC, y 4 aristas laterales G. La seccion que pasa por las aristas laterales, y consiguientemente por los ejes secundarios, da un cuadrado (fig. 41*a*); esta seccion recibe el nombre de *base del octaedro*. Las secciones segun las aristas terminales producen rombos (fig. 41*b*).


Fig. 41.

En el sistema cristalino regular, no tenemos mas que un solo oc-

taedro; el segundo sistema nos presenta, por el contrario, una infinidad de octaedros de base cuadrada, que difieren entre sí por la inclinacion de sus caras, ó por la relacion de longitud que guarda el eje principal con los dos ejes secundarios iguales; y, para que el octaedro quede caracterizado, es necesario fijar esta relacion de longitud, ó dar la inclinacion de las caras.

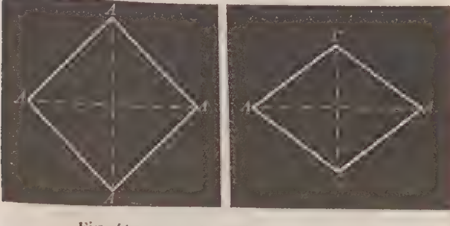


Fig. 41 *a*. Fig. 41 *b*.

En todos los octaedros del segundo sistema cristalino, el eje principal une las dos cúspides del octaedro, pero los ejes secundarios pueden presentar dos posiciones diferentes con respecto á las aristas laterales del octaedro, ó á los lados de la base. Estos ejes pueden unir los ángulos opuestos de la base, como se ve representado en la figura 42, ó los puntos medios de los lados opuestos, como en la figura 43. De este modo se obtienen efectivamente dos octaedros de base cuadrada con sistemas de ejes en un todo iguales: en el octaedro cuya base es la figura 43, las caras se hallan inclinadas de la misma manera que lo están las aristas del octaedro cuya base es la figura 42. Distinguiremos estos dos octaedros, llamando al que tiene por base la figura 42, *octaedro de primera clase*, ú *octaedro directo*, y al que tiene la figura 43 por base, *octaedro de segunda clase* ú *octaedro inverso*.



Fig. 42.



Fig. 43.

Cuando una misma sustancia cristaliza en *octaedros de base cuadrada*, no presenta siempre el mismo octaedro. Por el contrario, se observan á menudo muchos *octaedros* diferentes, aunque guardan entre sí una relacion sumamente simple, que puede expresarse como sigue: *haciendo que todos estos octaedros tengan la misma base, sus alturas ó sus ejes principales se hallarán entre sí en relaciones racionales y muy sencillas.*

Se elige uno de estos octaedros como *forma principal* o *forma primitiva*; y se prefiere el que se presenta con mas frecuencia, o

domina ordinariamente en las combinaciones. A esta forma principal ó primitiva se da la notacion siguiente:

$$(a : a : c);$$

y, por consecuencia, todos los octaedros en que la base está colocada con respecto á los ejes secundarios, de la misma manera que en el octaedro principal, es decir, todos los octaedros de primera clase ú octaedros directos, podrán representarse por

$$(a : a : mc);$$

miéntras los octaedros de segunda clase ú octaedros inversos, en los cuales la inclinacion de las caras es igual á la que presentan las aristas de los octaedros correspondientes de primera clase, tendrán por expresion

$$(a : \infty a : mc).$$

Si los valores de m pudieran ser cualesquiera, el número de estos octaedros seria infinito; pero la observacion ha hecho ver que, en los diversos octaedros de base cuadrada que presenta una misma sustancia, el número m tiene siempre un valor racional, y sencillo en extremo; así, siendo la expresion del octaedro primitivo

$$(a : a : c),$$

no se encuentran nunca en la misma sustancia otros octaedros, que los que tienen por notaciones

$$\begin{array}{lcl} (a : a : 2c) & \text{ó} & (a : a : \tfrac{1}{2}c) \\ (a : a : 3c) & & (a : a : \tfrac{1}{3}c) \\ (a : a : 4c) & & (a : a : \tfrac{1}{4}c); \end{array}$$

es decir, los octaedros que, para ejes secundarios iguales, tienen un eje principal 2, 3, 4 veces mayor, ó 2, 3, 4 veces menor que el eje principal c del octaedro primitivo; y los octaedros correspondientes de la segunda clase:

$$\begin{array}{lcl} (a : \infty a : \ c) & \text{ó} & (a : \infty a : \ c) \\ (a : \infty a : 2c) & & (a : \infty a : \tfrac{1}{2}c) \\ (a : \infty a : 3c) & & (a : \infty a : \tfrac{1}{3}c) \\ (a : \infty a : 4c) & & (a : \infty a : \tfrac{1}{4}c). \end{array}$$

Sin embargo, existen todavía dos casos que se ven realizados en las sustancias cristalinas pertenecientes al segundo sistema, y son los que se deducen de las fórmulas

$$(a : a : mc)$$
$$(a : \infty a : mc),$$

dando á m sus valores límites, es decir, haciendo

$$m=0$$
$$\text{ó } m=\infty.$$

Cara terminal recta. — Dando á m valores sucesivamente menores, se obtienen octaedros mas y mas rebajados, y en el límite, cuando $m=0$, el octaedro se reduce á su base; á esta forma límite del octaedro llamaremos, *cara terminal recta*: cara que no puede jamas presentarse aislada; pero se la encuentra muy á menudo combinada en las formas compuestas. Su expresion podria ser $(a : a : 0c)$, mas de ordinario se escribe $(\infty a : \infty a : mc)$, ó simplemente $(\infty a : \infty a : c)$; y se la considera en tal caso como el límite de los octaedros que tienen por eje principal mc, pero cuyos ejes secundarios, sin dejar de ser iguales, llegan á ser infinitos.

Prismas de base cuadrada. — Dando á m valores cada vez mayores en las fórmulas generales $(a : a : mc)$, $(a : \infty a : mc)$, se obtienen octaedros mas y mas agudos; y en fin, cuando $m=\infty$, los octaedros se trasforman en dos prismas de base cuadrada, cuyas bases son: la figura 42 para el prisma que deriva de los octaedros de primera clase, y la figura 43 para el prisma límite de los octaedros de segunda clase. Estos dos prismas por sí solos no pueden componer un cristal, pero lo determinan frecuentemente, combinándose con los octaedros ó con la cara terminal recta.

§ 28. **Formas compuestas del segundo sistema cristalino.** — Cuando los dos octaedros primitivos de primera y de segunda clase se combinan, el octaedro de segunda clase d forma truncaduras rectas sobre las aristas del octaedro de primera clase o, como se ve en la figura 44, que presenta al mismo tiempo la cara terminal recta c.

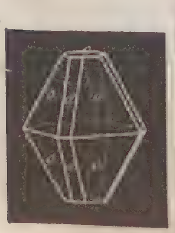



Fig. 44.



Fig. 45.

La figura 45 nos ofrece una combinacion del octaedro primitivo o, que tiene por fórmula $(a : a : c)$, con el octaedro obtuso de la misma clase $\frac{o}{3}$, cuya fórmula es $(a : a : \frac{1}{3}c)$, y con el octaedro mas agudo $2d$ de segunda clase $(a : a : 2c)$.

La figura 46 nos da una combinacion del octaedro primitivo o, $(a : a : c)$, con el prisma recto de la misma clase g, $(a : a : \infty c)$.

La figura 47 hace ver la combinacion del mismo octaedro primi-

tivo o, $(a : a : c)$, con el prisma recto de segunda clase a, $(a : \infty a : \infty c)$.

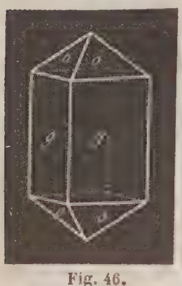
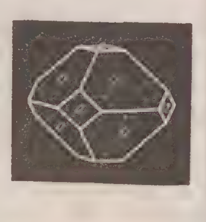
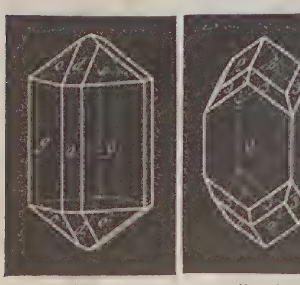

Fig. 46.


Fig. 47.


Fig. 48.

En la figura 48 encontramos una combinacion del octaedro primitivo o, $(a : a : c)$, con la cara terminal recta c, y con el prisma de segunda clase a, $(a : \infty a : \infty c)$: el octaedro primitivo domina en la combinacion.

La figura 49 representa una combinacion de dos prismas rectos g y a, que tienen por fórmulas $(a : a : \infty c)$, $(a : \infty a : \infty c)$, con el octaedro primitivo o, $(a : a : c)$, y el octaedro correspondiente de segunda clase d, $(a : \infty a : c)$: el prisma recto $(a : a : \infty c)$ domina en la combinacion.


Fig. 49. Fig. 50.

Por último, en la figura 50, se halla una combinacion del octaedro primitivo o, $(a : a : c)$, con el octaedro agudo de la misma clase 3, $(a : a : 3c)$, y el prisma recto de segunda clase a, $(a : \infty a : \infty c)$. El prisma domina en la combinacion.

3º *Tercer sistema cristalino.*

§ 29. Las formas que pertenecen al tercer sistema cristalino son caracterizadas por 4 ejes, 3 semejantes entre sí, y cortándose bajo ángulos de 60º, y el cuarto eje de especie diferente, y perpendicular á los otros tres. Se elige este eje único por eje principal, y los tres ejes semejantes vienen á ser ejes secundarios. La relacion entre la longitud del eje principal y la de los secundarios puede ser cualquiera.

Es evidente que, en este sistema cristalino, las caras se hallan dispuestas simétricamente con respecto á los tres ejes secundarios, al paso que, con respecto al eje principal, su disposicion es totalmente distinta de la que presentan con los ejes secundarios. Se encuentran en el tercer sistema, lo mismo que en el segundo y en todos los siguientes, formas indefinidas que no pueden por sí solas terminar un cristal.

Las principales formas simples que se presentan en este sistema son las siguientes:



Fig. 51.

Dodecaedros exagonales (fig. 51). Estas formas tienen 12 caras, 18 aristas y 8 ángulos.

Las caras son triángulos isóceles.

Las aristas son de dos especies: 12 aristas terminales D, y 6 aristas laterales G.

Los ángulos son igualmente de dos especies: 2 ángulos terminales C, que son regulares y de 6 caras, y 6 ángulos laterales de 4 caras, que son solamente simétricos.

La seccion por las aristas laterales da la *base*, que es un exágono regular, y contiene los tres ejes secundarios. Las secciones que pasan por dos aristas terminales paralelas dan rombos.

Pueden distinguirse dos clases de dodecaedros, segun el modo con que los ejes secundarios estén dispuestos relativamente á los lados de la base. En la primera clase, los ejes unen los ángulos de la base, como en la figura 52. En la segunda, los ejes unen los puntos medios de lados opuestos, como en la figura 53.



Fig. 52.

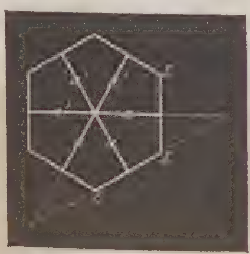


Fig. 53.

Las caras de los dodecaedros de primera clase, ó dodecaedros directos, cortan á dos ejes secundarios, segun longitudes iguales a, y son paralelas al tercero. Las caras de los dodecaedros correspondientes de segunda clase, ó dodecaedros inversos, cortan á uno de los tres ejes secundarios segun una longitud a, y sus prolongaciones cortan á los otros dos segun longitudes $2a$.

Por consiguiente, la fórmula que conviene al dodecaedro de primera clase es

$$(a : a : \infty a : c);$$

y la del dodecaedro correspondiente de segunda clase será

$$(2a : a : 2a : c).$$

A mas de los dos dodecaedros de que acabamos de hablar, pueden presentarse otra infinidad pertenecientes á las dos clases, y cuyas fórmulas generales serán

$$(a : a : \infty a : mc) \qquad (2a : a : 2a : mc).$$

Pero, en una sola y misma sustancia, los dodecaedros se hallarán siempre entre sí en relaciones muy simples. *Si se refieren estos dodecaedros á sistemas de ejes secundarios iguales, sus ejes principales guardarán entre sí relaciones racionales muy sencillas; ó en otros términos, los valores de* m *serán* 2, 3, 4 ó $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$.

Se eligirá, pues, uno de estos dodecaedros como *forma principal*, ó *forma primitiva*, prefiriendo el que se presente con mas frecuencia, ó domine ordinariamente en las combinaciones. Dando á la forma primitiva la notacion

$$(a : a : \infty a : c),$$

las fórmulas de los dodecaedros serán

Dodecaedros de primera clase.	Dodecaedros de segunda clase.
$(a : a : \infty a : c)$	$(2a : a : 2a : c)$
$(a : a : \infty a : 2c)$	$(2a : a : 2a : 2c)$
$(a : a : \infty a : 3c)$	$(2a : a : 2a : 3c)$
$(a : a : \infty a : 4c)$	$(2a : a : 2a : 4c)$
$(a : a : \infty a : \frac{1}{2}c)$	$(2a : a : 2a : \frac{1}{2}c)$
$(a : a : \infty a : \frac{1}{3}c)$	$(2a : a : 2a : \frac{1}{3}c)$
$(a : a : \infty a : \frac{1}{4}c)$	$(2a : a : 2a : \frac{1}{4}c)$.

Pero tambien se encuentran muy á menudo formas indefinidas, que pueden considerarse como formas límites de los dodecaedros, y que se obtienen haciendo $m=0$, ó $m=\infty$ en las dos fórmulas generales

$$(a : a : \infty a : mc) \qquad (2a : a : 2a : mc).$$

Haciendo $m=0$ en estas fórmulas, los dodecaedros se reducen á una sola cara paralela y semejante á la base. A esta cara daremos el nombre de *cara terminal recta*. Su expresion deberá ser $(a : a : \infty a : 0c)$; pero se escribe ordinariamente $(\infty a : \infty a : \infty a : mc)$, es decir, que se la considera como el límite de los dodecaedros exagonales que

tienen por eje principal *mc*, pero cuyos ejes secundarios, sin dejar de ser iguales, han crecido hasta ser infinitos.

Haciendo $m = \infty$, se tienen dos prismas de 6 caras, cuyas fórmulas son

$$(a : a : \infty a : \infty c)$$
$$(2a : a : 2a : \infty c).$$

Romboedros ó hemidodecaedros (fig. 54). Los romboedros tienen 6 caras, 12 aristas y 8 ángulos. Las caras son rombos; las aristas son de dos especies, 6 aristas terminales X, y 6 aristas laterales. Los ángulos son igualmente de dos especies: 2 ángulos C regulares de 3 caras, y 6 ángulos laterales E de 3 caras, aunque irregulares.



Fig. 54.

El eje principal une los dos ángulos terminales C, y los ejes secundarios unen los puntos medios de las aristas laterales opuestas. Las secciones que pasan por dos diagonales oblicuas CE, C′E′ dan rombos, cuyos planos son perpendiculares á las caras del romboedro, á que pertenecen dichas diagonales. Hay tres secciones de esta especie en un romboedro, y se las llama *secciones principales*.

Puede suponerse que el romboedro resulta del dodecaedro exagonal por una generacion análoga á la que hemos indicado para derivar el tetraedro del octaedro regular, es decir, suponiendo que las caras alternativas del dodecaedro tomen un desarrollo suficiente para hacer que desaparezcan las caras intermedias: solo quelan en este caso las caras del dodecaedro, que son paralelas de dos en dos. Pero, como puede elegirse uno ú otro sistema de caras alternativas, es claro que se obtendrán dos romboedros (fig. 54 y 55), que serán perfectamente iguales, y que se confundirian si uno de ellos girase 60° al rededor de su eje principal. A estos dos romboedros llamaremos *romboedro de primera clase*, y *romboedro de segunda clase*; ó aun, *romboedro directo* y *romboedro inverso*.



Fig. 55.

Coincidiendo las caras de los romboedros con las del dodecaedro exagonal, es claro que sus expresiones serán idénticas á las de las

caras del dodecaedro; y solamente para distinguirlas de estas últimas se afectan sus fórmulas del coeficiente $\frac{1}{2}$. Segun esto, los romboedros de primera clase se escribirán

$$\tfrac{1}{2}(a : a : \infty a : mc),$$

y los de segunda

$$\tfrac{1}{2}(a' : a' : \infty a : mc).$$

Hemos acentuado los símbolos de los dos primeros ejes en esta última fórmula, para expresar que los romboedros de segunda clase cortan, en sus prolongaciones, á los ejes, que son cortados directamente por los romboedros de primera.

Una misma sustancia, que cristaliza segun el tercer sistema cristalino, presenta frecuentemente muchos romboedros de primera y de segunda clase. *Si se supone que los ejes secundarios de estos romboedros sean iguales, se encontrará que las longitudes de los ejes principales guardan entre sí relaciones racionales y sencillas*, como se verifica para los dodecaedros del mismo sistema. Se elige ordinariamente uno de estos romboedros como forma primitiva, y se comparan con él todos los demas.

Los romboedros cuyas caras se hallen colocadas de la misma manera que las del romboedro principal serán considerados como pertenecientes á la primera clase; y al contrario, deberán ponerse en la segunda todos aquellos cuyas caras estén colocadas en direccion de las aristas del romboedro principal.

Los romboedros presentan, lo mismo que los octaedros del segundo sistema cristalino, series de figuras mas obtusas y mas agudas. Cada romboedro obtuso de estas series tiene sus caras inclinadas hácia el eje principal, del mismo modo que las aristas de la forma aguda que le sigue inmediatamente; de suerte que cada forma es el *primer romboedro agudo* de la que la precede, y el *primer romboedro obtuso* de la que la sigue. Las formas que se siguen inmediatamente en estas series, son de clases diferentes.

Los romboedros que forman dichas series tienen las notaciones siguientes:

Romboedro principal..		$(a : a : \infty a : c)$
1er Romboedro obtuso....		$(a' : a' : \infty a : \frac{1}{2}c)$
2º	» »	$(a : a : \infty a : \frac{1}{4}c)$
3º	» »	$(a' : a' : \infty a : \frac{1}{8}c)$
1er Romboedro agudo....		$(a' : a' : \infty a : 2c)$
2º	» »	$(a : a : \infty a : 4c)$
3º	» »	$(a' : a' : \infty a : 8c)$

Sin embargo, suelen encontrarse romboedros cuyos ejes principales son iguales á 3 ó 5 veces el eje principal del romboedro primitivo.

Didodecaedros (fig. 56). Esta forma tiene 24 caras; presenta el aspecto general de un dodecaedro exagonal, cuyas caras se hubiesen reemplazado por biseles que tuvieran sus aristas dirigidas segun las diagonales de las caras del dodecaedro. Las caras del didodecaedro son triángulos escalenos. Las 36 aristas son de 3 especies: 1°, 12 aristas terminales D, correspondientes, por su posicion, á las aristas terminales del dodecaedro exagonal de primera clase; 2°, 12 aristas terminales F correspondientes, por su posicion, á las aristas terminales del dodecaedro de segunda clase; 3°, 12 aristas laterales, correspondientes de dos en dos á las aristas laterales del dodecaedro.



Fig. 56.

Los ángulos son de 3 especies: 1°, 2 ángulos de 12 caras simétricas C, correspondientes á los ángulos terminales del dodecaedro; 2°, 6 ángulos laterales A de 4 caras y simétricos, correspondientes á los ángulos laterales del dodecaedro exagonal de primera clase; 3°, 6 ángulos laterales E de 4 caras y simétricos, correspondientes á los ángulos laterales del dodecaedro exagonal de segunda clase.

El eje principal une los ángulos terminales C, y los ejes secundarios unen los primeros ángulos laterales A.

La notacion mas general que se da á los didodecaedros es

$$(a : na : pa : mc);$$

los coeficientes n, p, m representan números enteros y simples, tales como 1, 2, 3, 4,... ó quebrados sencillos, como $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$,...

Los didodecaedros nunca se presentan en los cristales como formas dominantes, pero entran á menudo en las combinaciones como caras modificantes, sobre todo en aquellas en que domina el prisma de 6 caras.



Fig. 57.

Escalenoedros ó *hemididodecaedros* (fig. 57). Estos son las formas hemiédricas de los didodecaedros, y se obtienen prolongando, hasta que se encuentren, las caras contiguas al segundo sistema de aristas

terminales alternativas F (fig. 56). Los dos escalenoedros que se derivan así de cada didodecaedro, tienen las mismas relaciones de posicion que los dos romboedros derivados del mismo dodecaedro exagonal; y basta que uno de ellos dé un giro de 60° al rededor de su eje principal, para tomar la misma posicion que el otro. Las fórmulas de los dos escalenoedros derivados de un mismo didodecaedro $(a : na : pa : mc)$, son

$$\tfrac{1}{2}(a : na : pa : mc)$$
$$\tfrac{1}{2}(a' : na' : pa' : mc).$$

§ 30. **Formas compuestas del tercer sistema.** — Vamos á presentar algunas formas compuestas del tercer sistema cristalino.

La figura 58 representa una combinacion del dodecaedro primitivo r con el primer prisma de 6 caras g.

Fig. 58.

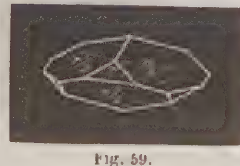
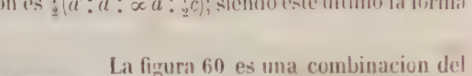


Fig. 59.

La figura 59 da una combinacion del romboedro principal r, que tiene por fórmula $\frac{1}{2}(a : a : \infty a : c)$, con su primer romboedro obtuso $\frac{r'}{2}$, cuya notacion es $\frac{1}{2}(a' : a' : \infty a : \frac{1}{2}c)$; siendo este último la forma dominante.



La figura 60 es una combinacion del romboedro principal r

$$\tfrac{1}{2}(a : a : \infty a : c)$$

con su primer romboedro obtuso $\frac{r'}{2}$

$$\tfrac{1}{2}(a' : a' : \infty a : \tfrac{1}{2}c),$$

y con su primer romboedro agudo $2r$

$$\tfrac{1}{2}(a' : a' : \infty a : 2c),$$



Fig. 60.

siendo el romboedro r la forma dominante.

La figura 61 presenta la combinacion del romboedro primitivo

$$\tfrac{1}{2}(a : a : \infty a : c$$

con su segundo romboedro agudo $4r$

$$\tfrac{1}{2}\,(a : a : \infty a : 4c):$$

este último $4r$ es la forma dominante.

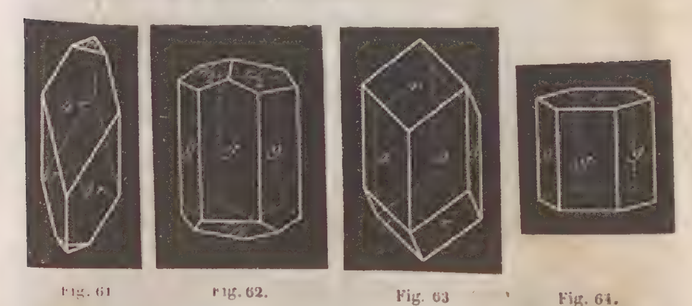


Fig. 61 Fig. 62. Fig. 63 Fig. 64.



Fig. 65.

La figura 62 nos ofrece una combinacion del primer prisma de 6 caras g con un romboedro $\frac{r'}{2}$ de segunda clase.

La figura 63 indica una combinacion del romboedro principal r con el segundo prisma de 6 caras a.

La figura 64 nos hace ver una combinacion del prisma de 6 caras g con la cara terminal c.

Por último, la figura 65 manifiesta una combinacion del escalenoedro $3z$ dominante

$$\tfrac{1}{2}\,(a : \tfrac{1}{2}a : \tfrac{1}{3}a : c)$$

con el romboedro principal r.

4° *Cuarto sistema cristalino.*

§ 31. Las formas del cuarto sistema cristalino se distinguen por 3 ejes rectangulares que son todos tres desiguales y de especie diferente, de suerte que la eleccion del eje principal es completamente arbitraria. Los relaciones de magnitud entre los tres ejes pueden ser cualesquiera, y en general son irracionales.

Las formas que se presentan en este sistema son las siguientes:

Formas simples. — *Octaedros rectos de base romboidal* (fig. 66) Las caras de estos octaedros son triángulos escalenos. Las aristas son de tres especies: 4 aristas terminales D, que unen las extremos del eje principal con los del primer eje secundario; 4 aristas terminales F.

que unen los extremos del eje principal y los del segundo eje secundario, y 4 aristas laterales G, que unen entre sí los extremos de los ejes secundarios.


Fig. 66.

Los ángulos son de tres especies : 2 ángulos terminales C situados á las extremidades del eje principal; 2 ángulos laterales A á las extremidades del primer eje secundario, y 2 ángulos laterales B á las del segundo eje secundario.

Las secciones hechas por las aristas terminales dan rombos (fig. 67 y 68); y sucede lo mismo con la seccion que pasa por las aristas laterales, y que da la *base* (fig. 69).



Fig. 67.



Fig. 68.



Fig. 69.

Cuando una misma sustancia afecta la forma de muchos octaedros cuya base sea un rombo, todos estos octaedros presentan relaciones sencillas entre las longitudes de sus ejes.

La notacion de la forma primitiva es

$$(a : b : c).$$

Los demas octaedros que pueda presentar la misma sustancia se expresarán por las fórmulas siguientes :

$$(a : b : mc)$$
$$(a : mb : c)$$
$$(ma : b : c)$$
$$(ma : nb : c),$$

siendo m y n números racionales muy sencillos.

Las tres primeras fórmulas pueden considerarse como casos particulares de la cuarta.

Los octaedros del cuarto sistema que *puede* presentar una misma sustancia son, pues, en mayor número todavía que los del segundo sistema. Pero en realidad, este número es muy *limitado*, y solo se encuentran los octaedros que tienen por fórmulas

$(a : b : c)$
$(a : b : \frac{1}{2}c)$ $(a : b : 2c)$
$(a : b : \frac{1}{3}c)$ $(a : b : 3c)$,

y las formas límites que se obtienen haciendo m y n iguales á cero ó al infinito en nuestras fórmulas generales.

Haciendo m y n iguales á cero, se reduce el octaedro á caras únicas, perpendiculares á uno de los ejes del cristal. Se obtiene así:

1º Una cara perpendicular al eje principal, haciendo $c = 0$; la expresion de esta cara deberia ser, segun esto, $(ma : nb : 0c)$; mas se escribe ordinariamente $(\infty a : \infty b : c)$, lo cual supone que deriva de los octaedros $(ma : nb : c)$, que tienen el eje c, pero cuyos ejes secundarios han ido creciendo hasta llegar á ser infinitos.

2º Una cara perpendicular al primer eje secundario, que se obtiene suponiendo $a = 0$: la fórmula de esta cara deberia ser $(0a : mb : nc)$, aun cuando se note por la siguiente: $(a : \infty b : \infty c)$; es decir, que se la supone derivada de los octaedros $(a : mb : nc)$, que tienen por eje secundario a, pero cuyos ejes b y c han llegado á ser infinitos.

3º Una cara perpendicular al segundo eje secundario, que se obtiene haciendo $b = 0$; su notacion deberia ser $(ma : 0b : nc)$; pero se le da ordinariamente la $(\infty a : b : \infty c)$; y se considera entónces esta cara como el límite de los octaedros que tienen por eje b, y cuyos ejes a y c se han prolongado hasta el infinito.

Haciendo m y n iguales al infinito en la fórmula general, resultan tres sistemas de prismas cuyas aristas son paralelas á cada uno de los tres ejes:

1º Un primer sistema que contiene prismas verticales cuyas caras son paralelas al eje principal; y su fórmula general es $(a : mb : \infty c)$, teniendo la misma base que el octaedro de que derivan. La expresion del prisma vertical que deriva del octaedro primitivo, es $(a : b : \infty c)$.

2º El segundo sistema que contiene prismas horizontales cuyas caras son paralelas al primer eje secundario, y tienen por formula general $(a : \infty b : mc)$; y el prisma que deriva del octaedro primitivo, se representa por $(a : \infty b : c)$.

3° El tercer sistema compuesto de prismas horizontales cuyas caras son paralelas al segundo eje secundario: su expresion general será ($\infty a : mb : c$), y la del prisma que deriva del octaedro primitivo vendrá á ser ($\infty a : b : c$).

§ 32. **Formas compuestas**. — Las principales formas compuestas que se presentan en este sistema son las siguientes:

(Fig. 70.) Combinacion del octaedro principal o con el octaedro mas obtuso $\frac{o}{3}$, con la cara terminal c, y el segundo prisma horizontal f del octaedro principal.

(Fig. 71.) Combinacion del octaedro principal o con su prisma vertical g, y el prisma vertical $\frac{g}{2}$.

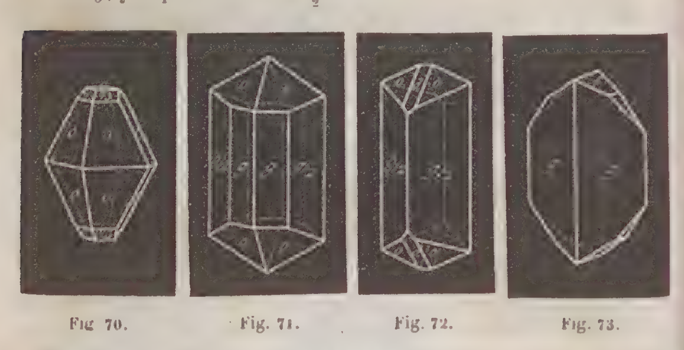


Fig. 70. Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.

(Fig. 72.) Combinacion del octaedro principal o con su primer prisma horizontal d, y el prisma vertical $\frac{g}{2}$.

(Fig. 73.) Combinacion del prisma vertical g de la forma primitiva, con el segundo prisma horizontal f de la misma forma primitiva, y con un segundo prisma horizontal mas agudo $2f$.

(Fig. 74.) Combinacion del segundo prisma horizontal f de la forma primitiva, del primer prisma horizontal $\frac{d}{2}$, y de la cara terminal recta c.

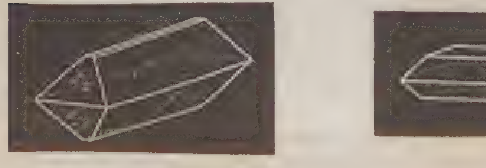


Fig. 74.

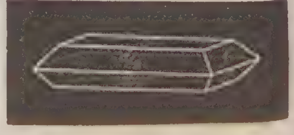


Fig. 75.

(Fig. 75.) La misma combinacion con la cara terminal dominante.

(Fig. 76.) Combinacion del primer prisma vertical g de la forma primitiva con la cara terminal recta c: domina la cara terminal.

(Fig. 77.) Combinacion del prisma vertical g de la forma primitiva con el prisma horizontal $\frac{d}{2}$, y la cara terminal c.



Fig. 76.



Fig. 77.

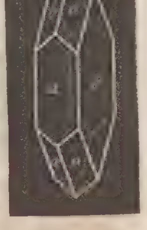


Fig. 78

(Fig. 78.) Combinacion del octaedro principal o con las caras laterales a y b.

5° *Quinto sistema cristalino.*

§ 33. El quinto sistema cristalino es caracterizado por tres ejes desemejantes; dos de ellos son oblicuos entre sí, y el tercero perpendicular á los otros dos. Las relaciones de magnitud entre estos tres ejes son cualesquiera, y en general irracionales. Puede tomarse indistintamente uno de estos ejes como eje principal.

La figura 79 representa un octaedro perteneciente á este sistema: y uno de los ejes oblicuos se ha tomado por eje principal c. Las caras son triángulos escalenos, pero de dos especies.

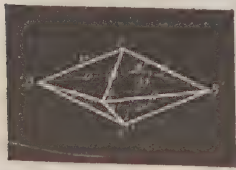


Fig. 79

Las aristas son de cuatro especies: 4 aristas terminales que unen los ejes a y c; las aristas opuestas son las únicas iguales entre sí, por causa de la oblicuidad de los ejes; 4 aristas terminales que unen los ejes b y c, y que son todas iguales, porque los dos ejes b y c son perpendiculares entre sí: en fin, 4 aristas laterales que unen los ejes perpendiculares a y b, y que son por consiguiente iguales entre sí.



Fig. 80.

La seccion hecha por las aristas D, D' (fig. 80) es un paralelógramo que contiene los dos ejes oblicuos, y se llama *seccion principal*.

La seccion por las aristas laterales da la *base* del octaedro, que es un rombo (fig. 81).

Para definir completamente el octaedro, no basta ya dar las longitúdes de los tres ejes, es menester asignar todavía el valor del ángulo δ que los dos ejes oblicuos *a* y *c* forman entre sí.

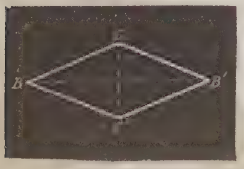


Fig. 81.

El octaedro del quinto sistema no tiene todas sus caras semejantes; y así, propiamente hablando, no es *una forma simple*. Se le puede considerar como una combinacion de dos prismas oblicuos: el primero formado por las caras BAC, B'A'C', B'AC y BA'C' (fig. 79), y el segundo por las BCA', B'C'A, BAC' y B'A'C. Pueden distinguirse estos dos prismas llamando al primero: *prisma oblicuo anterior del octaedro*, y al segundo: *prisma oblicuo posterior del octaedro*. Esta distincion es necesaria, porque sucede frecuentemente que, en las formas compuestas de este sistema, los octaedros no se presentan enteramente, y solo aparece uno de sus prismas oblicuos: otras veces se presentan ambos prismas, y uno de ellos es dominante.

Es claro que, *pudiendo* variar hasta al infinito los valores de los ejes *a*, *b*, *c*, así como el ángulo δ de los dos ejes oblicuos, el quinto sistema contendrá una infinidad de octaedros diferentes. Pero, cuando una sola y misma sustancia presente, en sus formas cristalinas, muchos octaedros del quinto sistema, se encontrará que en todos estos octaedros el ángulo δ es el *mismo*, y que las longitudes de los ejes *a*, *b*, *c* de uno cualquiera de ellos guardan siempre *relaciones comensurables*, y aun en general *muy sencillas*, con las longitudes de los ejes correspondientes de todos los demas: de manera que, si se elige uno de estos octaedros por término de comparacion, y se le expresa por $(a : b : c)$, todos los octaedros de la misma sustancia se encontrarán comprendidos en la fórmula general

$$(ma : nb : pc),$$

siendo las cantidades *m*, *n*, *p* números racionales, comensurables, y en general muy sencillos, como 2, 3, 4....... ó $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$,.....

Las formas que se presentan con mas frecuencia en este sistema son las formas límites que se obtienen haciendo sucesivamente $m = \infty$, $n = \infty$, $p = \infty$, ó bien, $m = 0$, $n = 0$, $p = 0$, en la formula general.

Haciendo $p=\infty$, se obtienen prismas verticales, paralelos al eje principal c, y cuya fórmula general puede escribirse

$$(a : mb : \infty c),$$

la expresion del prisma principal será

$$(a : b : \infty c).$$

Suponiendo $n=\infty$, resultan prismas horizontales, paralelos al segundo eje secundario b, y cuya fórmula general es

$$(a : \infty b : mc),$$

siendo la del prisma horizontal principal

$$(a : \infty b : c).$$

En fin, haciendo $m=\infty$, se hallan prismas oblicuos paralelos al eje secundario a, que tienen por fórmula general

$$(\infty a : b : mc),$$

siendo la del prisma oblicuo principal

$$(\infty a : b : c).$$

$p=0$ da una cara terminal paralela á los ejes a y b, que puede notarse por $(ma : nb : 0c)$, aunque ordinariamente se escribe $(\infty a : \infty b : c)$; lo cual supone que esta cara es el límite de los octaedros $(ma : nb : c)$, que tienen por eje principal c, pero cuyos ejes secundarios han ido aumentando hasta llegar á ser infinitos.

$n=0$ produce una cara terminal paralela á los ejes a y c, cuya notacion seria $(ma : 0b : pc)$; pero de ordinario se le da la fórmula $(\infty a : b : \infty c)$: esta cara se considera entónces como el límite de los octaedros $(ma : b : pc)$, que tienen por eje secundario b, y los ma y pc que han llegado á ser infinitos.

Por ultimo, $m=0$ da una cara terminal, paralela á los ejes b y c, y que tendrá por fórmula $(0a : nb : pc)$, dándole ordinariamente por expresion $(a : \infty b : \infty c)$; por suponerla derivada de los octaedros $(a : nb : pc)$ que tienen el eje secundario a, y los nb y pc que han crecido hasta llegar á ser infinitos.

§ 34. Las formas compuestas mas sencillas que nos ofrece este sistema son las siguientes :

La que presenta la figura 82 es una combinacion del octaedro primitivo completo o, o', $(a : b : c)$, con el prisma vertical principal g. $(a : b : \infty c)$.

La indicada por la figura 83 es una combinacion del octaedro principal completo *o*, *o'*, $(a : b : c)$, con el prisma vertical principal *g*, $(a : b : \infty c)$ y con las caras terminales *b*. $(\infty a : b : \infty c)$, paralelas á los ejes *a* y *c*.

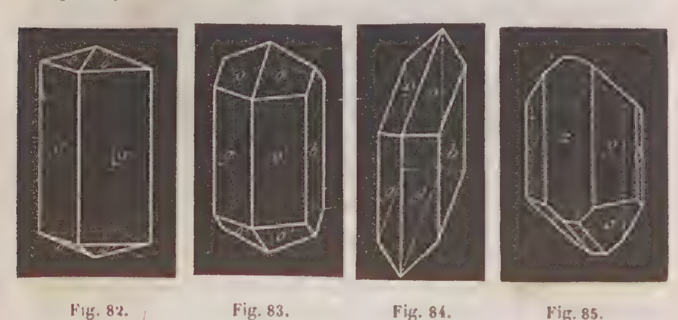


Fig. 82. Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.

La figura 84 hace ver una combinacion del prisma oblicuo anterior *o*, *o'* del octaedro principal $(a : b : c)$, con su prisma vertical *g*. $(a : b : \infty c)$ y con la cara terminal *b*, $(\infty a : b : \infty c)$.

La figura 85 nos presenta una combinacion en que entran : el prisma oblicuo posterior *o'* del octaedro principal $(a : b : c)$, su prisma vertical principal *g*, $(a : b : \infty c)$, y los tres sistemas de caras terminales paralelas á los ejes, á saber : la cara terminal *b* paralela á los ejes *a* y *c*, y cuya fórmula es $(\infty a : b : \infty c)$; la cara terminal *a* paralela á los ejes *b* y *c*, que tiene por expresion $(a : \infty b : \infty c)$, y en fin una cara oblicua *d*.

6° *Sexto sistema cristalino.*

§ 35. Las formas del sexto sistema cristalino tienen 3 ejes desemejantes, oblicuos, que presentan entre sí relaciones de magnitud cualesquiera ; siendo la eleccion del eje principal de todo punto indiferente. Resulta de la desigualdad y oblicuidad de los ejes, que las formas de este sistema no tienen caras simétricas, y que solo las caras paralelas son semejantes.



Fig. 86.

La figura 86 representa un octaedro perteneciente á este sistema : las caras paralelas son las únicas iguales entre sí, de manera que las caras son de cuatro especies.

Las aristas son de seis especies : la arista terminal anterior D es-

diferente de la arista posterior D′; la arista terminal de derecha F es diferente de la arista terminal de izquierda F′; la arista lateral de derecha G es diferente de la arista lateral de izquierda G′.

Los ángulos son de tres especies, y están formados por aristas desiguales.

Las secciones hechas por las aristas terminales, ó por las aristas laterales, son paralelógramos.

Cuando una misma sustancia presenta muchos octaedros, se elige uno cualquiera como forma primitiva, y este toma entónces la fórmula $(a : b : c)$; pero para definirla de una manera completa, es menester que se den los valores de los ángulos α, β, γ que los ejes oblicuos forman entre sí.

Si se determinan despues los ejes de los otros octaedros de la misma sustancia, se notará que estos ejes forman siempre entre sí los *mismos ángulos* α, β, γ, y que sus longitudes absolutas guardan relaciones numéricas *muy sencillas* con las de los ejes correspondientes del octaedro primitivo; de modo que todos estos octaedros pueden representarse por la fórmula

$$(ma : nb : pc);$$

siendo m, n y p números racionales y en general muy simples.

Los octaedros de este sistema presentan cuatro pares diferentes de caras paralelas, y pueden ofrecer en las combinaciones un par aislado solamente, ó muchos pares á la vez. Será útil en consecuencia distinguir cada uno de estos pares con una notacion particular. Esta será fácil, conservando las letras a, b, c á las mitades de los ejes sobre que se cuentan ordinariamente las coordenadas positivas en la geometría analítica, y refiriendo las letras a', b', c' á las porciones de ejes dirigidos en el sentido de las coordenadas negativas. Podrán segun esto representarse :

La cara	AB′C	y su paralela por	$(a : b : c)$
»	ABC	»	$(a' : b : c)$
»	A′BC	»	$(a' : b' : c)$
»	A′B′C	»	$(a : b' : c)$.

Se obtendrán las formas límites de este sistema haciendo sucesivamente $p = \infty$, $n = \infty$, $m = \infty$,
ó $p = 0$, $n = 0$, $m = 0$.

Resultarán así tres sistemas de prismas :

Prismas verticales cuyas caras son paralelas al eje principal c;

Prismas inclinados con caras paralelas al eje b;

Prismas inclinados que tienen sus caras paralelas al eje c, y tres

caras terminales, paralelas á cada uno de los tres sistemas de ejes oblicuos tomados de dos en dos.

Los cristales pertenecientes á este sistema son con frecuencia muy complicados y difíciles de definir completamente, porque los octaedros y los prismas no se manifiestan en ellos las mas veces, sino por uno solo de sus pares de caras.

La figura 87 representa una de estas combinaciones; y se encuentran en ella :

1° La cara de izquierda del octaedro principal *o*;

2° La cara terminal oblicua 2*d'*;

3° Caras de derecha é izquierda del prisma vertical *g* y *g'* del octaedro principal;

4° La cara terminal *a*, paralela á los ejes *a* y *c*;

5° La cara terminal *c*, paralela á los ejes *a* y *b*.

Fig. 87.

El sexto sistema cristalino comprende muchas menos sustancias cristalizadas que los cinco sistemas anteriores. En general, las formas de este sistema se reconocen fácilmente por su falta de simetría, pero la definicion precisa de sus caras suele ofrecer grandes dificultades.

Hipótesis sobre los decrementos moleculares.

§ 36. Las leyes que establecen las relaciones de simetría entre las varias formas cristalinas de una misma sustancia, pueden explicarse con suma sencillez partiendo de ciertas hipótesis sobre la forma de las moléculas cristalinas, y sobre el modo con que estas se reúnen ó se agrupan. Será útil desenvolver dichas hipótesis, no solo porque dan de estas leyes una explicacion, por decirlo así material, que facilita considerablemente su estudio y comprension; sino tambien porque, guiándose por ellas, llegó Haüy á descubrir por induccion las leyes de la Cristalografía : leyes que despues rectificó por medio de medidas exactas.

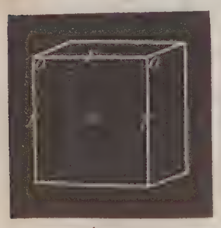


Fig. 88.

Tomemos una sustancia mineral, la galena, que cristaliza segun el sistema regular, y afecta una multitud de formas de este sistema. Consideremos primeramente un cristal cúbico de galena (fig. 88). Si lo rompemos por el choque, ó bien lo partimos aplicando en diversas direcciones una hoja cortante, notaremos pronto que el cristal se faceta con mucha facilidad segun tres direcciones paralelas

á las caras del cubo, miéntras resiste en todas las demas. Los fragmentos que se separan del cristal cúbico, así como el núcleo que resulta, tienen la forma de paralelepípedos rectangulares. Esta division mecánica puede reproducirse considerablemente, pues los mas pequeños fragmentos que se obtienen son divisibles todavía; y observaremos siempre, mirando con un microscopio, que los granos mas ténues de este polvo presentan tambien la forma de paralelepípedos rectangulares. Guiados naturalmente por la induccion debemos inclinarnos á admitir, que las últimas partículas cristalinas, las que resistirian á la division mecánica, afectan aun la misma forma. Á estas partículas se da el nombre de *moléculas cristalinas integrantes*; y están formadas individualmente por un gran número de moléculas químicas, separables tal vez por otros medios mecánicos que no conocemos, y agrupadas bajo la influencia de fuerzas que todavía no es posible definir.

Tomemos ahora un cristal octaédrico de galena (fig. 89), y tratemos de facetarle paralelamente á sus caras: no será posible lograrlo. Obtendremos, por el contrario, facetaciones muy fáciles en el sentido de planos igualmente inclinados sobre las 4 caras que forman los ángulos sólidos del octaedro. Efectuando sucesivamente estas facetaciones sobre todos los ángulos sólidos, desaparecerá pronto la forma del octaedro, y obtendremos un núcleo de forma paralelepípeda rectangular, que continuará modificándose por la facetacion, del mismo modo que el cristal cúbico considerado primitivamente. Concluiremos de aquí, que las moléculas integrantes del cristal octaédrico son tambien, como las del cristal cúbico, pequeños paralelepípedos rectangulares.



Fig. 89.

Elijamos, por último, un cristal de galena que afecte la forma de un dodecaedro romboidal (fig. 90). Hallaremos aun, que este cristal no se faceta en sentido paralelo á sus caras. Las solas facetaciones que pueden ejecutarse fácilmente, se hallan dirigidas segun planos que tienen la misma inclinacion sobre las caras de los ángulos sólidos A de 4 caras. Si efectuamos sucesivamente las facetaciones sobre estos 6 ángulos sólidos, desaparecerán las caras del dodecaedro, resultando núcleos cuya forma será la de paralelepípedos



Fig 90.

rectangulares, semejantes en su aspecto y propiedades físicas de sus caras á los núcleos que hemos obtenido de los cristales octaédricos y cúbicos. Concluiremos todavía que las moléculas cristalinas que constituyen el cristal dodecaédrico, presentan aun la forma de paralelepípedos rectangulares, como las de los cristales cúbicos y octaédricos.

Mas ¿cuáles son las relaciones de magnitud que existen entre los lados de este paralelepípedo primitivo? Nada notaremos que pueda distinguir entre sí las facetaciones correspondientes á cada una de las tres direcciones distintas que conducen al paralelepípedo : todas tres son igualmente fáciles, y las caras que ellas determinan están dotadas del mismo brillo. Deberemos por consiguiente admitir que el paralelepípedo tiene iguales sus tres dimensiones, es-decir, que será un cubo. Las partículas cristalinas de la galena tendrán, pues, la forma cúbica, y, si la induccion no nos ha engañado, podremos reproducir, por la *yuxtaposicion* de estos pequeños cubos elementales, el cubo, el octaedro, el dodecaedro romboidal, y en general todas las formas cristalinas de la galena : como vamos fácilmente á demostrar.

Para hacer sensible la demostracion, exageremos mucho las dimensiones de los pequeños cubos elementales; lo cual nos es permitido sin faltar en nada al rigor de nuestros razonamientos, puesto que solo consideraremos los planos tangentes, cuyas direcciones son independientes de la magnitud que tengan las moléculas,

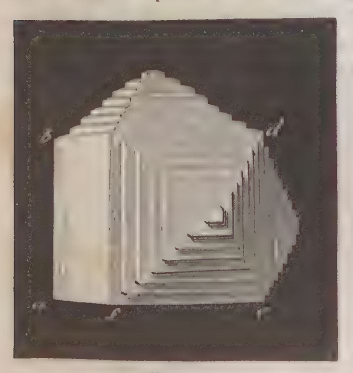
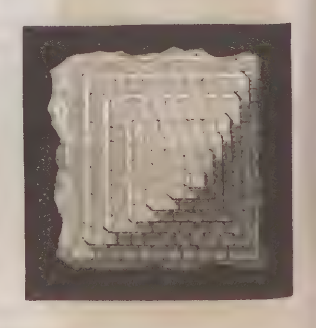



Fig. 91.


Fig. 91 *a*.

con tal que la forma y disposicion respectiva de estas queden siempre las mismas. El cristal cúbico se formará inmediatamente por la yuxtaposicion de los cubos elementales. Coloquemos ahora sobre las caras del cubo *abcdef* (fig. 91), capas ó lechos de moléculas

cúbicas, reuniéndolas del mismo modo que lo están en el cristal cúbico, pero suprimiendo en cada capa las cuatro filas ó pequeñas hiladas paralelas á las cuatro aristas correspondientes del cubo; de tal modo que cada lecho venga á tener por cada lado una fila de menos que el que le precede inmediatamente. Es fácil ver que se obtendrá así el dodecaedro romboidal (fig. 90); lo que puede ademas ponerse en claro por la figura 91, en la cual, por no complicarla ni hacer que pierda su aspecto general, hemos suprimido las líneas que marcan la separacion de los pequeños cubos elementales últimamente colocados; pero las hemos indicado en la figura 91*a*, que representa en mayor escala uno de los ángulos sólidos de la nueva forma.

Suponiendo que las moléculas cúbicas sean infinitamente pequeñas, las asperezas que provienen de la supresion de las hiladas sucesivas desaparecerán, y las caras del dodecaedro quedarán perfectamente planas. Podremos decir en consecuencia, que *el dodecaedro romboidal deriva de un cubo por un decremento de una fila de ancho y otra de alto, segun las caras del cubo y en direccion de sus aristas.*

Supongamos todavía que en cada nueva capa se supriman 2, 3 ó 4 filas de partículas elementales: es claro que se engendrarán sobre cada cara del cubo pirámides cuadrangulares, cuyas alturas serán $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ de la altura ó del eje del cubo, y que se obtendrán los diversos tetrakisexaedros (fig. 25) de que hemos hablado (página 17).

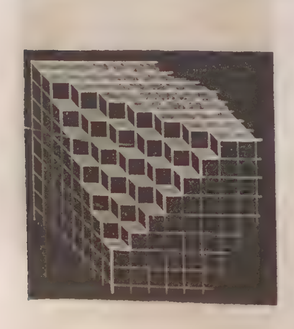


Fig. 92.

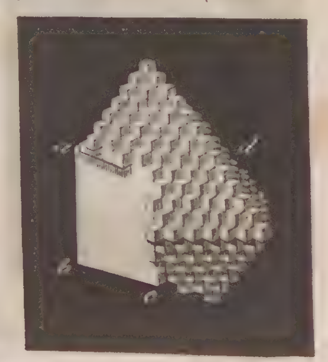


Fig. 93.

Habrán resultado así *decrementos de una fila de altura y de 2, 3 ó 4 filas de latitud.*

Tomemos ahora un grueso cristal cúbico (fig. 92), y partiendo del

punto medio de una de sus aristas, y simétricamente con relacion á ella, quitemos una molécula á la primera capa superior, dos á la segunda, tres á la tercera y así sucesivamente; de este modo daremos orígen á una truncadura tangente sobre el ángulo sólido del cubo. Si procedemos de la misma manera respecto de cada uno de los ángulos, obtendrémos un octaedro regular (fig. 93), que se habrá formado *por un decremento de una fila de ancho y otra de alto sobre las aristas del cubo.*

Consideremos aun nuestro cubo *abcdef* (fig. 94), y coloquemos nuevas capas de moléculas cúbicas sobre sus caras; pero produciendo, segun la arista *fe*, un decremento de 2 filas de latitud por una de altura; y, segun la arista *fd*, un decremento inverso, es decir, de una sola fila de latitud por 2 de altura; efectuemos lo mismo sobre cada cara del cubo, y obtendremos el dodecaedro pentagonal (fig. 94). Hemos suprimido tambien en esta figura las líneas de separacion de los pequeños cubos elementales; pero las volvemos á encontrar en la figura 94 *a*, que representa mas en grande la parte anterior de la figura 94. El dodecaedro pentagonal es una forma hemiédrica, un *hemi-tetrakisexaedro* (página 17); y las demas formas hemiédricas del sistema regular se sacarán igualmente por decrementos simétricos sobre las aristas semejantes.



Fig. 94.



Fig. 94 *a*

Fácil es concebir, sin necesidad de acumular nuevos ejemplos, que podrán reproducirse, por superposiciones y sustracciones análogas, todas las figuras del sistema cristalino regular.

§ 37. Puede demostrarse igualmente que todas las formas del segundo sistema se construirian con moléculas cristalinas, cuya forma fuese la de un paralelepípedo recto de base cuadrada, y de

altura desigual á la longitud de los lados de la base, permaneciendo constante para una misma sustancia la relacion entre esta altura y los lados de la base, y variando de una sustancia á otra.

Tomemos un cristal cuya forma sea la de un prisma recto de base cuadrada, y coloquemos sobre su base superior capas de moléculas cristalinas con un decremento, en direccion de los lados de la base, de una fila de ancho por otra de alto; obtendremos una pirámide de base cuadrada, cuya altura presentará con los lados de la base la misma relacion que guardan entre sí las longitudes homólogas de la molécula cristalina. Si hacemos lo mismo para la base inferior del prisma, nos resultará un prisma recto de base cuadrada, terminado por dos apuntamientos que, reunidos por sus bases, formarán un octaedro de base cuadrada. Elijamos este octaedro como octaedro primitivo de la sustancia : sus dimensiones fijarán inmediatamente las de la molécula cristalina integrante.

Podríamos construir sobre la misma base otras pirámides de 4 caras, produciendo decrementos de una fila de ancho, pero de 2, 3, 4 filas de altura. Tendríamos de este modo octaedros de base cuadrada, mas y mas agudos, cuyas alturas serian 2, 3, 4 veces mayores que la del octaedro primitivo. Si, por la inversa, los decrementos que producimos tienen solo una fila de alto por 2, 3, 4 filas de ancho, obtendremos octaedros cada vez mas obtusos, y cuyas alturas serán $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ de la del octaedro primitivo. Podemos segun esto construir, con la misma molécula integrante, una serie de octaedros obtusos y agudos de la misma clase, pero que gozarán todos de la propiedad siguiente: á saber que, referidos á la misma base, sus alturas guardarán entre sí relaciones sencillas, como $1 : 2 : 3 : 4 \ldots$ ó como $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} \ldots$

Volvamos á tomar nuestro prisma recto de base cuadrada. Partiendo de un punto de una de sus aristas verticales, y simétricamente con relacion á ella, quitemos una fila de moléculas á la primera capa, dos á la segunda, tres á la tercera y así sucesivamente; en una palabra, operemos sobre nuestro prisma recto de base cuadrada, como lo hemos hecho sobre el cubo para engendrar el octaedro regular. Es claro que vendremos á formar un octaedro, que será el de segunda clase del octaedro primitivo, y cuyas caras se hallarán dirigidas segun las aristas de este último. Produciendo decrementos de una fila de ancho por 2, 3, 4 filas de altura, tendremos la serie de octaedros agudos de segunda clase. En fin, resultará la serie de octaedros obtusos de esta misma clase, haciendo supresiones de una fila de altura por 2, 3, 4 filas de latitud.

§ 38. Una generacion análoga es aplicable al sistema rom-

boédrico y á los sistemas cristalinos mas complicados. Para las formas enteras, ú *homoédricas*, del sistema romboédrico, seria menester tomar por molécula cristalina integrante un prisma regular de 6 caras. Podríamos con este mismo prisma, suprimiendo la mitad de los decrementos segun una cierta ley, construir las formas hemiédricas del mismo sistema. Tal vez fuera mas fácil considerar estas últimas formas como resultantes de moléculas cristalinas, hemiédricas por sí mismas, que tuviesen, por ejemplo, la forma del romboedro primitivo. Nos limitaremos á hacer ver cómo pueden derivarse los escalenoedros, segun esta hipótesis, del romboedro primitivo que tiene las mismas aristas laterales. La figura 95 representa esta especie de generacion para el escalenoedro (fig. 57) de la cal carbonatada: este escalenoedro tiene un eje principal triple que el del romboedro primitivo de las mismas aristas laterales, y se presenta á menudo en esta sustancia. Basta colocar sucesivamente sobre cada cara del romboedro primitivo *abcde*, capas de moléculas de forma semejante á este romboedro, efectuando al mismo tiempo, en sentido de las aristas laterales, un decremento de dos filas de ancho por una de alto. Se han suprimido en la figura 95 las líneas de separacion de los romboedros elementales; pero pueden verse distintamente en la figura 95 *a*, que presenta en mayor escala las capas superiores de la figura 95.

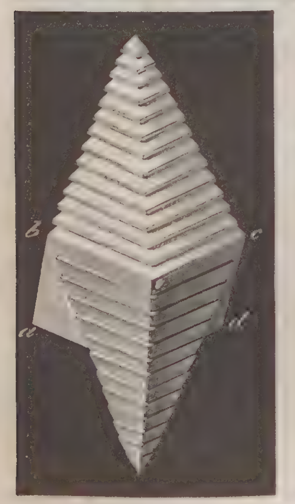


Fig. 95.



Fig. 95 *a*.

Si al decremento se le hubiese dado una fila solamente de ancho y alto, el escalenoedro producido tendria un eje principal doble que el del romboedro primitivo, con los mismos ejes secundarios.

§ 39. En los tres últimos sistemas cristalinos, la molécula inte-

grante será un paralelepípedo, cuyos elementos podrán determinarse por los del octaedro que se ha elegido como principal. Unas veces, los pequeños sólidos generadores vendrán á ser la misma molécula integrante; y otras, estarán formados por una reunion determinada de estas moléculas. La figura 96 presenta un ejemplo de un decremento sobre los ángulos, partiendo de uno de estos sólidos generadores complexos *abcdefg*. Las caras que se formarán así, ya sobre las aristas, ya sobre los ángulos, tendrán inclinaciones diferentes, que podrán variar indefinidamente, haciendo variar tambien la composicion de los mismos sólidos generadores; pero todas estas caras ofrecerán de comun el siguiente carácter: á saber, que las longitudes interceptadas por ellas sobre los ejes homólogos, serán proporcionales á números enteros. Esta es la ley general que la observacion demuestra, y que hemos mencionado frecuentemente en lo que llevamos expuesto.

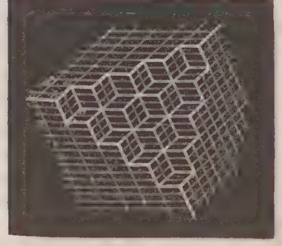


Fig. 96.

Determinacion de un cristal.

§ 40. Deberíamos ahora extendernos sobre los métodos que conducen á la determinacion rigurosa de la forma de un cristal dado. Un exámen detenido sobre el cristal y sobre la simetría de sus modificaciones basta por lo regular, para reconocer el sistema cristalino á que pertenece. Esta determinacion superficial es suficiente cuando el cristal corresponde al sistema regular, y no hay mas que indicar las formas simples que entran en su constitucion. Pero no sucede lo mismo con todos los demas sistemas: no basta ya indicar los nombres de las formas simples que componen el cristal, sino que es necesario dar rigurosamente los valores de los ángulos que los ejes forman entre sí, cuando estos no son rectangulares, así como las relaciones de magnitud de estos mismos ejes, para cada una de las formas simples que componen el cristal.

Los ángulos de los ejes y sus relaciones de magnitud no pueden medirse inmediatamente sobre el cristal. El solo elemento que se presta á una medida directa es la inclinacion que tienen entre si las diversas caras. Pero es evidente que los ángulos de los ejes y sus relaciones de magnitud están en relacion geométrica inmediata con las diversas inclinaciones de las caras, y que, cuando se conocen

estas últimas, la determinacion de los ángulos de los ejes y de sus longitudes respectivas viene á ser un simple problema de geometría.

Los límites de este tratado no nos permiten exponer el método de cálculo que se emplea para llegar á este resultado. Este cálculo es muy sencillo en los sistemas rectangulares, pero llega á ser bastante complicado en los sistemas oblicuos. Inducimos al lector que quisiera ponerse en estado de efectuar estos cálculos á consultar el *Tratado de Mineralogia* de M. Dufrénoy, que presenta una multitud de ejemplos numéricos de determinaciones de cristales, ó bien la *Cristalografía* de M. Miller, traducida al francés por M. de Sénarmont, en la que hallará las fórmulas generales que se aplican á este cálculo: fórmulas notables por su gran simetría, y que se prestan fácilmente á todos los casos particulares que puedan ocurrir.

No es siempre necesario para obtener la definicion rigurosa de un cristal el conocer todos sus ángulos diedros; y basta frecuentemente tener los valores de un corto número de ellos, por ejemplo, cuando el cristal pertenece á uno de los sistemas cristalinos mas simples. Pero es conveniente en todos casos medir el mayor número de ángulos posible; pues aunque muchos de estos no sean indispensables para la determinacion de los elementos del cristal, pueden sin embargo servir para rectificar estos elementos, y corregirlos si es necesario: todos los ángulos del cristal presentan necesariamente relaciones geométricas con las longitudes y direcciones de sus ejes.

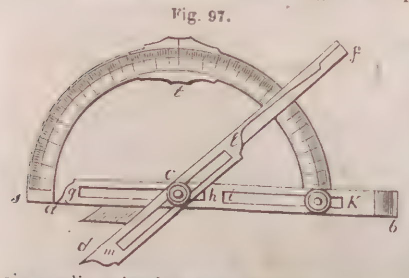
El químico que desee definir claramente un cristal, debe tratar de medir con el mayor cuidado todos sus ángulos diedros, y anotar sus valores designando rigurosamente los ángulos. Siempre será fácil, por medio de estos datos, determinar despues los elementos del cristal, es decir, la inclinacion de los ejes y sus relaciones de longitud.

La operacion esencial para definir la naturaleza de un cristal es, pues, la medida de la inclinacion respectiva de sus caras; y se emplean con este objeto instrumentos que se llaman *goniómetros*. Se distinguen dos especies de goniómetros, el *goniómetro de aplicacion* y el *goniómetro de reflexion*.

El goniómetro de aplicacion (fig. 97) se compone de un semicírculo graduado, el cual lleva adaptadas dos alidadas de metal: una de estas *ab* se halla fija en el cero de la division, la otra *df* es movible, y marca sobre el limbo el ángulo del cristal. Para medir un ángulo diedro, se aplica una de sus caras sobre la alidada fija *ab*, en su prolongacion, de manera que la arista del ángulo sea perpen-

dicular al plano del limbo; y se mueve en seguida la otra alidada hasta que su prolongacion venga á apoyarse sobre la segunda cara del ángulo: es claro que el ángulo comprendido entre las dos alidadas, y dado inmediatamente por el limbo, medirá el ángulo buscado.

Fig. 97.



Las dos alidadas *ab*, *df* pueden resbalar á favor de las muescas *ik*, *gh* y *lm*, lo cual permite acortar los brazos *ca* y *cd* tanto como se quiera. Esta condicion es indispensable, pues ocurre con frecuencia medir cristales muy pequeños, que no es fácil introducir entre las dos alidadas, sino cuando se han acortado mucho sus brazos exteriores.

Este goniómetro da solamente valores aproximados del ángulo buscado; y no suele ser de fácil aplicacion á los cristales artificiales, porque estos tienen por lo regular poca dureza, y se rayan y se deforman á veces bajo la mas débil presion.

El goniómetro de reflexion da resultados mucho mas precisos, aunque solo es aplicable á los cristales que presentan un cierto pulimento. Se han construido diferentes clases de estos goniómetros; pero solo describiremos el que se emplea mas generalmente, y se conoce con el nombre de *goniómetro de Wollaston*.

El goniómetro de Wollaston (fig. 98) se compone de un limbo vertical LL′, graduado en su canto, y atravesado por un eje horizontal montado sobre un apoyo *pqr*. Se hace girar este limbo por medio de la birola *r*. Un nonio *uv* dispuesto á la extremidad de una regla, fija invariablemente sobre el montante *pq*, permite medir el ángulo descrito, ó lo que ha girado el limbo.

El eje del limbo es hueco, y está atravesado por otro eje movible interior *ac*, que se hace girar valiéndose de la birola *s*. A su extremidad *c* va fija una pieza *cgeb*, que sirve para sostener el cristal *z*, y es susceptible de varios movimientos, que facilitan mucho la colocacion del cristal. Esta pieza se compone de un semicírculo *cge* con una articulacion en *g*, y de un cilindro hueco *ef*, atravesado por una varilla *bd*, la cual se hace girar por medio de un boton *b*. La varilla *bd* tiene una hendidura en *d*, para recibir una pequeña lámina de laton sobre la cual se fija el cristal, pegándolo con un poco de cera: por este medio el cristal se encuentra colocado sobre el eje

movible interior *ac*, y puede girar, sin mover el limbo, con auxilio de la birola *s*, ó bien al mismo tiempo que el limbo, sirviéndose de la birola *v*. Las partes movibles del sistema *cyebd* permiten aproximar ó alejar el cristal del limbo y darle diferentes inclinaciones, sin necesidad de tocarlo. Esta movilidad es necesaria, pues hemos de ver que es esencial, para la medida de un ángulo diedro del cristal, el que pueda colocarse la arista del ángulo en una direccion rigurosamente paralela al eje de rotacion del limbo.

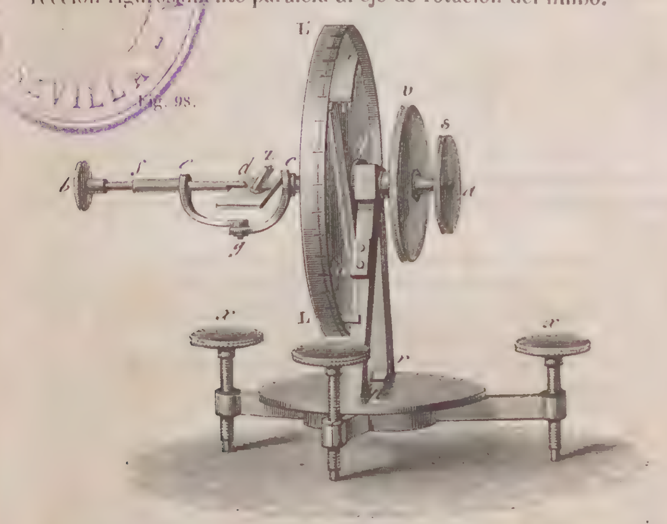


Fig. 98.

Esto supuesto, se coloca el instrumento sobre una mesa, delante de un edificio que presente muchas líneas horizontales que se destaquen bien, y se eligen por miras dos de estas líneas. La arista superior de un tejado que se proyecte sobre el cielo puede servir perfectamente de mira superior. Se toma por mira inferior la arista horizontal de una puerta ó ventana del piso bajo.

Se empieza por poner el limbo exactamente vertical, lo cual es fácil con la ayuda de los tornillos de presion *x*, *x*, *x*, que lleva el pié del instrumento, y de un nivel de aire. Se sitúa al mismo tiempo el limbo de manera que sea perpendicular á la fachada del edificio, y por consecuencia á las dos líneas horizontales que sirven de mira. En esta posicion del instrumento es precisamente cuando debe fijarse el cristal sobre su apoyo con cera blanda, colocándole luego de manera que la arista del ángulo que se quiere medir sea proxi

mamente perpendicular al plano del limbo. Es menester en seguida hacer que esta perpendicularidad sea rigurosa. Para esto se coloca el ojo muy cerca del cristal, y en una posicion tal que perciba la mira inferior segun la direccion del mismo cristal. Se hace girar el eje interior *ac* hasta que el ojo, conservando una posicion invariable, vea la imágen de la mira superior reflejada sobre una de las caras del cristal. La direccion de esta imágen debe ser exactamente paralela á la mira inferior, vista directamente. Si no se logra esta condicion, se mueve convenientemente el cristal, lo que es fácil por el juego de las diversas partes de la pieza que le sostiene. Una de las caras del ángulo es entónces perpendicular al plano del limbo. La arista del ángulo será tambien perpendicular al limbo, si la segunda cara de este ángulo satisface á la misma condicion que la primera; de lo cual puede uno asegurarse, repitiendo sobre la segunda cara la misma operacion que se ha hecho sobre la primera, conservando siempre el ojo su posicion invariable. Son necesarios algunos tanteos para obtener simultáneamente estas dos condiciones, pero con un poco de práctica se consigue pronto este resultado.

Hallándose ya el cristal convenientemente colocado, se procede á la medida del ángulo. Para esto, se pone el limbo en el cero del nonio moviendo la birola *v*; y se sitúa el cristal, sirviéndose de la birola *s*, de manera que el ojo vea la imágen de la mira, reflejada por una de las caras, coincidiendo con la segunda mira vista directamente. Despues, por medio de la birola *v*, se hace girar el limbo, que arrastra necesariamente en su movimiento al eje interior *ac*, y por lo tanto al cristal, hasta que el ojo, que debe quedar rigurosamente en la misma posicion, perciba la mira superior, reflejada por la segunda cara del cristal, en coincidencia con la mira inferior.

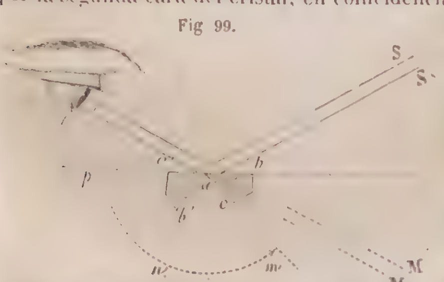


Fig 99.

El ángulo que el limbo ha descrito en su giro, y cuyo valor se mide con ayuda del nonio fijo *uw*, es suplemento del ángulo del cristal.

En efecto, supongamos que *abc* (fig. 99) sea la posicion de nuestro ángulo diedro, cuando el ojo O del observador percibe la imágen de la mira superior S, reflejada sobre la cara *ab* del cristal, en coincidencia con la mira inferior M vista directamente: es evidente que, para que el ojo vea el mismo efecto sobre

la segunda cara *ac* del ángulo, será necesario que el ángulo diedro venga á tomar la posicion *ac'b'*, es decir, que la cara *ac* describa el arco *mnp* que es justamente suplemento del ángulo buscado.

El goniómetro de reflexion permite medir los ángulos de un cristal con algunos minutos de diferencia, siempre que las caras de este cristal reflejen perfectamente los objetos. La condicion mas esencial. despues de haber colocado convenientemente el cristal, es la de conservar el ojo en una posicion invariable, si las miras no se hallan situadas á distancias considerables. Se ha tratado de perfeccionar este instrumento, adaptando al aparato un anteojo provisto de un diafragma reticular, que da una direccion fija al rayo visual, y permite suprimir la segunda mira. El foco del anteojo debe hallarse dispuesto de tal suerte que pueda percibirse claramente la mira superior, cuando se dirige á ella el anteojo. Sin embargo, esta disposicion es solo aplicable á los cristales de un gran poder reflejante, que por desgracia son en muy corto número. Algunos de ellos suelen presentar aun un poder reflejante tan imperfecto, que no puede tomarse por mira superior la arista del tejado de un edificio lejano; y es menester en esta circunstancia colocarse delante de una ventana abierta, cuya arista superior se destaque bien, y tomar esta arista por mira superior. Puede servir de mira inferior una raya negra trazada sobre un papel, que se pega á la mesa misma que sostiene el goniómetro, ó bien puede usarse todavía un hilo blanco que se extiende sobre el tablero de la mesa, pintado de negro; pero es menester asegurarse siempre de que estas líneas de mira son perfectamente paralelas á la arista de la ventana.

Para algunos cristales esta nueva disposicion no basta por sí sola, porque sus caras son muy poco reflejantes. Sin embargo, se llega algunas veces á medir los ángulos de estos cristales, aunque con menos precision, colocándose en una cámara oscura. Se toma en este caso por mira superior la luz de una bujía, situada á cierta altura y á una distancia algo grande del goniómetro; y por mira inferior, una línea negra trazada sobre un papel, que se ilumina con una lámpara dispuesta para el efecto detras del observador. Durante el movimiento del cristal, la luz de la bujia reflejada imperfectamente por sus caras penetra en el ojo, y se recibe entónces la sensacion de un brillo ó pequeño relámpago, que permite hacer las observaciones. Por lo demas, puede acortarse la altura de la llama valiéndose de una pantalla, disminuyendo de este modo los errores que provienen del ángulo visual, siempre un poco considerable, bajo el cual se presenta al ojo del observador la altura de la luz de la bujía, cuando esta no se halla muy distante.

En fin, el goniómetro de reflexion puede aun servir para los cristales que no reflejen distintamente la luz, pero cuyas caras sean bastante planas, pegando sobre ellas con un líquido á propósito pequeñas láminas de mica muy delgadas. Este líquido será agua ó esencia de trementina, segun la naturaleza del cristal.

Si este último medio es tambien insuficiente, es menester recurrir al goniómetro de aplicacion.

Imperfecciones que presentan los cristales naturales ó artificiales.

§ 41. Las formas cristalinas que acabamos de estudiar son siempre completas, y presentan una regularidad perfecta; pero es raro que semejante perfeccion se manifieste en los cristales naturales, ó en aquellos que obtenemos en nuestros laboratorios. Por lo regular estos cristales no están terminados en todo su contorno, y una de sus extremidades suele encontrarse engastada y perdida en otros individuos cristalinos. Otras veces aun, ciertas caras de una misma forma simple se han desenvuelto mucho mas considerablemente que las otras, y estas últimas al parecer deben haberse formado en circunstancias tales que les han impedido tomar todo su incremento natural.

Esta desigualdad en el desarrollo de las diversas caras de una misma forma simple, altera de tal modo el aspecto general de un cristal, que es menester un hábito particular para reconocer su verdadera forma, mayormente cuando el cristal pertenece á uno de los últimos sistemas cristalinos. Pero en medio de estas proporciones anómalas de las caras, se observa siempre que sus direcciones respectivas quedan rigurosamente constantes; y, si se han medido los diversos ángulos del cristal, será fácil construir sobre el papel la figura regular, la *figura tipo*, que corresponde al cristal imperfecto. Es suficiente para esto, conservando á sus diversas caras las direcciones que se han obtenido por la medida de los ángulos, colocar todas las caras de la misma especie á distancias iguales del centro del cristal.



Fig. 100.

Vamos á presentar algunos ejemplos de cristales desarrollados irregularmente, que se observan en todos los sistemas, aun en el sistema regular.

La forma completa mas ordinaria del alumbre es el octaedro regular (fig. 100); mas el alumbre no afecta esta forma completa sino

en los pequeños cristales que se forman libremente en el seno de una disolucion, por ejemplo, en los que se agrupan á la extremidad de un hilo muy fino sumergido en ella. Tambien suele formarse sobre las caras de un grueso cristal otro cristal muy pequeño, perfectamente regular, que no está unido al primero sino por una sola de sus aristas ó por uno de sus ángulos.

Los cristales que se originan en el seno de un líquido, adhiriéndose á las paredes de los vasos, se penetran y engastan siempre unos en otros, y solo presentan libres algunas caras ó porciones de caras. Puede formarse idea de esta disposicion de los cristales por la figura 101, que es una copia exacta de una cristalizacion del alumbre, formada en una de las grandes cubas en que se le hace cristalizar para emplearlo en las artes.

Fig. 101.



Si se coloca un pequeño cristal regular de alumbre en un vaso lleno de una disolucion de este cuerpo, saturada en frio, el cristal va adquiriendo mayores proporciones, pero se forma de una manera muy diferente segun la posicion que ocupe en el vaso. Si el cristal se ha colocado sobre el fondo, y próximamente en el eje de este vaso, se extiende ordinariamente de una manera regular en direccion de todas sus caras, excepto en la de aquella que asienta sobre el fondo del vaso. El cristal va aumentando generalmente

mas en el sentido horizontal que en el vertical, y presenta una forma análoga á la que nos manifiesta la figura 102. La cara sombreada *mnpqrs* es la que insiste sobre el fondo del vaso. Se ve que esta forma es precisamente la que se obtendria cercenando del octaedro regular, por un corte paralelo á una de sus caras, una porcion mas ó menos gruesa.

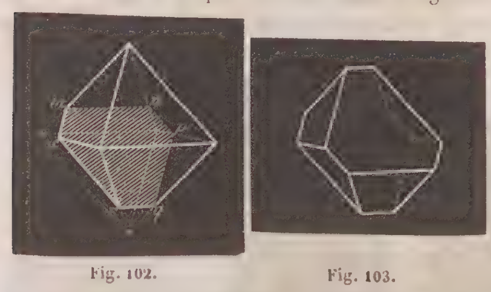


Fig. 102. Fig. 103.

Algunas veces el cristal toma la forma de la figura 103: su incremento en sentido perpendicular á las caras horizontales ha quedado nulo, ó al menos es inferior al que ha tenido en las otras direcciones, y las caras dispuestas horizontalmente en la disolucion presentan formas semejantes.

Cuando el cristal se halla colocado sobre el fondo del vaso, y muy cerca de las paredes laterales, su crecimiento es impedido en mayor número de direcciones, y su forma exterior viene á ser mucho mas irregular.

Sin embargo, pueden obtenerse artificialmente cristales de alumbre, muy gruesos y regulares, desarrollados en todos sentidos. Para esto es menester colocar un pequeño cristal regular en el fondo de un vaso que contenga una disolucion de alumbre, saturada en frio, y variar su posicion todos los dias, haciendo que descanse en el fondo por una nueva cara. Si se cuida de que todas sus caras insistan sucesivamente sobre el fondo del vaso, el cristal se formará de una manera muy regular en sentido de todas ellas, y podrá adquirir dimensiones considerables sin perder nada de su regularidad primitiva. Con todo, esta regularidad no es mas que aparente las mas de las veces; y un grueso cristal que se haya obtenido en estas circunstancias, y se haya *alimentado*, como suele decirse, es rara vez trasparente: sus caras son mas ó menos ondeadas, y el exámen óptico del cristal hace ver en su interior una porcion de imperfecciones.

Ordinariamente los cristales mas pequeños son tambien los mas perfectos, y los que conviene por tanto elegir siempre para medir los ángulos. La determinacion de estos ángulos por medio del goniómetro de Wollaston ofrece mayor exactitud en este caso, porque

las ligeras variaciones de posicion que puede tomar el ojo del observador no influyen sino muy débilmente.

La figura 104 es una combinacion del octaedro con el exaedro, que suele encontrarse en el sulfuro de plomo ó *galena*. Pero este mineral se presenta tambien bajo la forma de la figura 105, y por su aspecto podria tomársele desde luego como un cristal perteneciente al segundo sistema cristalino, es decir, al sistema del octaedro de base cuadrada; mas, si se miden los ángulos diedros del cristal, se verá muy pronto que las facetas o pertenecen á un octaedro regular. La figura 105 difiere de la figura 104 en que las caras verticales del exaedro han tomado en la primera un incremento extraordinario.

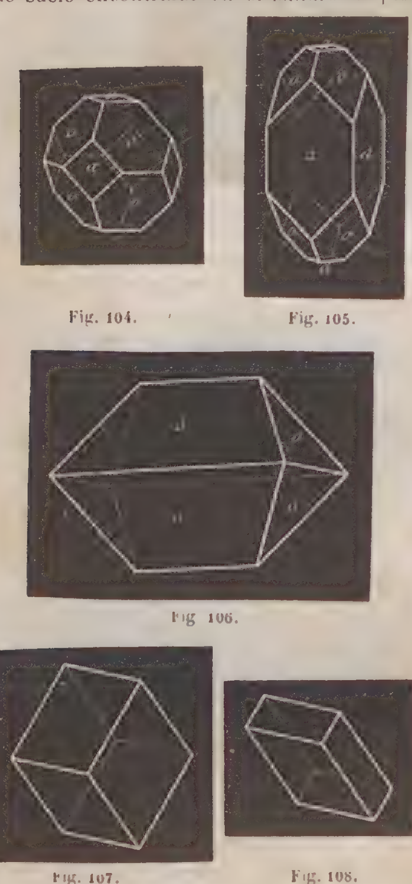


Fig. 104. Fig. 105. Fig. 106. Fig. 107. Fig. 108.

Las sustancias que cristalizan en octaedros regulares se presentan algunas veces bajo la forma de la figura 106, que se llama *octaedro cuneiforme*, ó en forma de cuña. Es fácil reconocer, por la medida de los ángulos, que las caras de este cristal pertenecen á un octaedro regular; pero cuatro de las caras de este octaedro han adquirido proporciones anómalas. En el tercer sistema cristalino, ó sistema romboédrico, se encuentran muchas anomalías semejantes.

El carbonato de cal cristaliza en romboedros, cuyo ángulo es de 105° 5′ (fig. 107). Hemos visto (§ 12) que este mineral es perfectamente facetable segun tres direcciones paralelas á las caras del romboedro; de donde resulta que podemos obtener muchos sólidos de facetacion (fig. 108), que tendrán siempre los mismos ángulos, pero que presentarán aspectos diferentes, por ser mas ó menos achatados. La direccion del eje principal de estos fragmentos romboédricos es siempre paralela á la línea que forma ángulos iguales con las tres aristas iguales que concurren en un mismo vértice.

La forma ordinaria del cuarzo es un prisma regular de seis caras,

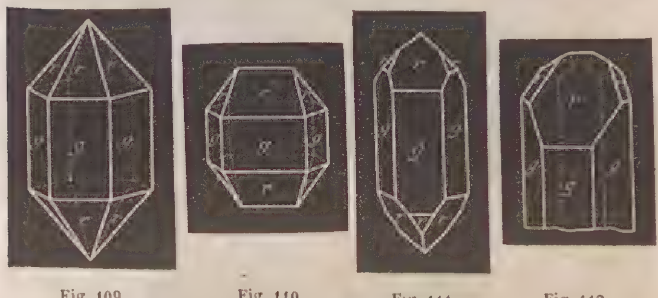


Fig. 109. Fig 110. Fig. 111. Fig. 112.

terminado por un dodecaedro exagonal. Los ángulos diedros del prisma son de 120°, y los ángulos diedros de dos caras consecutivas del dodecaedro son de 133° 40′. La figura 109 representa el tipo perfecto de esta forma. Pero es muy raro que los cristales de cuarzo ofrezcan formas tan regulares. Las figuras 110, 111 y 112 nos presentan algunos cristales naturales de cuarzo: todas son alteraciones de la figura tipo (fig. 109), producidas por el desarrollo anómalo que han tomado ciertas caras durante la cristalizacion. Mas, si se miden los ángulos de estos diversos cristales, se encuentra siempre que los ángulos diedros de las caras del prisma ver-

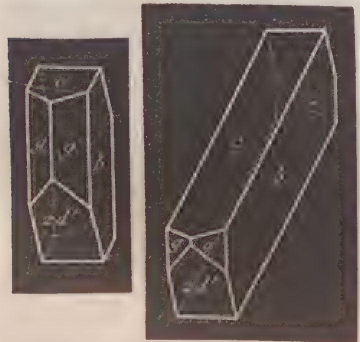


Fig. 113. Fig. 114.

tical son de 120°, y que las caras consecutivas de las pirámides forman entre sí ángulos de 133° 40′.

Irregularidades del mismo género se presentan en los sistemas cristalinos mas complexos; y algunas veces alteran de tal modo el aspecto de la forma, que es menester mucha práctica para reconocer la naturaleza de las diversas caras, y frecuentemente es necesario aun apelar á la medida directa de los ángulos diedros. Puede formarse una idea de las alteraciones que una misma forma experimenta, por la comparacion de las dos figuras 113 y 114, que representan dos cristales de feldspato, pertenecientes al quinto sistema, los cuales poseen exactamente las mismas caras, pero con desarrollos muy diferentes.

Agrupamientos de cristales, trasposiciones y hemitropias.

§ 42. Hemos dicho que los cristales no presentaban jamas ángulos entrantes, y que no se observaban ángulos de esta especie, sino por efecto de la reunion de dos individuos cristalinos. Algunas veces esta reunion se verifica con cierta especie de simetría, y entónces los grupos de cristales presentan aspectos regulares, como se ve en las figuras 115 y 116.

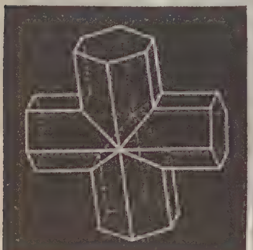


Fig. 115.

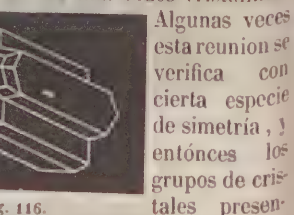


Fig. 116.

En estos diversos casos se descubre fácilmente la reunion de los cristales, pero hay otros, en que dicha reunion es menos aparente. Así la forma cristalina se halla representada á veces por la figura 117. Si se examina separadamente cada mitad del cristal, determinada por el plano que pasa por las aristas del ángulo entrante, se reconoce al punto que cada mitad pertenece á un octaedro regular, y que puede obtenerse la

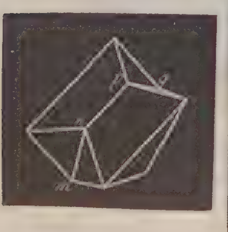


Fig. 117.



Fig. 118.

forma de la figura 117, cortando un octaedro regular (fig. 118) en dos partes iguales por un plano *mnpqrs* paralelo á las caras del octaedro, y dando un giro de 60° á una de las mitades del octaedro sobre la cara de separacion. Se dice en este caso que hay *trasposicion* de una de las mitades del octaedro.

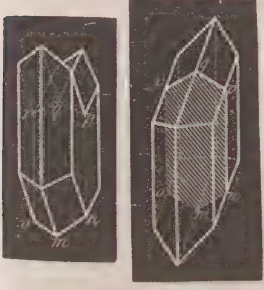


Fig. 119. Fig. 120.

La figura 119 representa una forma muy comun del sulfato de cal hidratado natural, ó yeso; y se la obtiene por medio de la figura 120, dividiendo esta en dos partes iguales por el plano *omnpqr*, y haciendo girar á una de las mitades sobre la otra. Se dice entónces que hay *hemitropia*, y el cristal de la figura 119 se llama *cristal hemitropiado*.

Dimorfismo y polimorfismo.

§ 43. Se ha creido por largo tiempo que una misma sustancia no afectaba mas que formas cristalinas derivadas de una forma primitiva única, segun las reglas que llevamos expuestas en los párrafos anteriores; pero en el dia se sabe que esta proposicion no es exacta. Así la cal carbonatada cristaliza ordinariamente en el sistema romboédrico, y todos sus cristales dan un sólido de facetacion que es un romboedro de 105° 5′; pero se ha encontrado la cal carbonatada bajo formas pertenecientes al cuarto sistema cristalino, que son enteramente incompatibles con la facetacion romboédrica. Los mineralogistas le dan entónces el nombre de *aragonito.*

El azufre que hacemos cristalizar por via de fusion lo verifica en prismas prolongados oblicuos, cuyas bases son rombos, y pertenecen al quinto sistema cristalino. La misma sustancia, cristalizada por via de disolucion en el sulfuro de carbono, toma la forma de octaedros rectos, de bases que tambien son rombos, pertenecientes al cuarto sistema. Los cristales naturales de azufre afectan igualmente esta última forma.

Las sustancias que pueden cristalizar así en dos sistemas cristalinos diferentes se llaman *sustancias dimorfas*, y el fenómeno recibe el nombre de *dimorfismo.*

Los cristales de una misma sustancia que pertenecen á dos sistemas diferentes no son desemejantes solamente por sus formas exteriores, sino que difieren tambien por otros muchos caractéres; y estas diferencias se manifiestan aun entre los granos del polvo mas fino que

pueda obtenerse por los medios mecánicos. Su dureza y densidad son diferentes, y tambien suelen conducirse de distinto modo bajo la accion del calor y la influencia de los agentes químicos.

Una misma sustancia no cristaliza en dos sistemas cristalinos diferentes, á menos que la cristalizacion se verifique en circunstancias distintas, por ejemplo, á temperaturas muy diversas. Deberemos naturalmente admitir que las fuerzas en virtud de las cuales las moléculas se agrupan en cristales, varían en su naturaleza y en sus intensidades segun la temperatura; por manera que las moléculas que se han agrupado á una temperatura elevada pueden encontrarse, cuando el cuerpo ha vuelto á tomar la temperatura ordinaria, bajo la influencia de fuerzas muy diferentes de aquellas que han presidido á su cristalizacion. Así se observan frecuentemente cristales que, formados á una elevada temperatura, y perfectamente trasparentes en el momento de su formacion, se vuelven al poco tiempo opacos y deleznables. Hay disgregacion en este caso, porque las moléculas tienden á agruparse diferentemente, obedeciendo á fuerzas que las solicitan á temperaturas menos elevadas. Aun con frecuencia, despues de esta alteracion, puede reconocerse con ayuda de una lente ó microscopio, que la masa está formada de pequeños cristales rudimentarios con la misma forma que la sustancia afecta cuando cristaliza á la temperatura ordinaria.

Esta trasformacion es muy aparente en los cristales de azufre obtenidos por via de fusion, que se presentan bajo la forma de prismas muy prolongados del quinto sistema, y son de un amarillo claro, perfectamente trasparentes y un poco flexibles. A la temperatura ordinaria, estos cristales cambian completamente de aspecto al cabo de algunos dias : pierden su trasparencia, se vuelven friables, y examinando su polvo con un microscopio, se nota que está formado de pequeños cristales pertenecientes al cuarto sistema cristalino, y semejantes á los que forma el azufre á la temperatura ordinaria en una disolucion de sulfuro de carbono. Así pues, los cristales presentan exteriormente las formas del quinto sistema, y en su interior manifiestan la textura cristalina y la facetation del cuarto.

Hasta el presente no conocemos sustancias que cristalicen en mas de dos sistemas diferentes; pero se concibe la posibilidad de que una sustancia, puesta en condiciones diversas, pueda tomar tres ó un mayor número de formas incompatibles : se la llamaria en tal caso *sustancia polimorfa.*

Isomorfismo.

§ 44. La forma cristalina de un cuerpo no basta por sí sola para definirle. Si el cuerpo cristaliza en el sistema regular, es claro que no será suficiente, para caracterizarle, el decir que afecta la forma de un octaedro regular ó de un cubo; puesto que todos los octaedros y exaedros del sistema regular son idénticos. No se ofrece igual dificultad en los otros sistemas, porque las formas del mismo nombre pertenecientes á un mismo sistema distan mucho de ser semejantes. Hemos visto, en efecto, que una misma sustancia puede muy bien tomar la forma de muchos octaedros pertenecientes á un mismo sistema cristalino, pero que estos octaedros presentan entre sí relaciones por las cuales se infiere fácilmente que todos ellos pertenecen á una misma sustancia. Basta para esto medir los ángulos diedros del cristal, y deducir de estas medidas, con el auxilio del cálculo, los ángulos y las relaciones de magnitud de sus ejes: se encontrará siempre, si los octaedros pertenecen á una misma sustancia, que los ángulos de los ejes son *rigurosamente idénticos* en todas estas formas, y que las magnitudes de los ejes homólogos se hallan entre sí en *relaciones racionales y muy simples*. Segun esto, se concibe que la determinacion exacta de la forma cristalina de una sustancia baste en rigor para caracterizarla, siempre que esta forma no pertenezca al sistema regular.

Existe sin embargo una circunstancia que se opone en cierto modo á la proposicion que acabamos de sentar, y es de la mayor importancia para nuestras teorías químicas. Se ha observado que las sustancias dotadas de composiciones químicas semejantes afectan formas cristalinas, no absolutamente idénticas, pero con tal semejanza exterior, que no se llega á distinguirlas sino por una medida muy exacta de sus ángulos. Así los carbonatos de cal, de magnesia de protóxido de hierro, de protóxido de manganeso, de óxido de zinc, cristalizan todos en romboedros, y presentan la facetacion romboédrica. Los ángulos de estos romboedros son:

Para el carbonato de cal...........	105° 5′
Para el carbonato de magnesia.......	107° 25′
Para el carbonato de manganeso.....	107° 20′
Para el carbonato de hierro.........	107° »
Para el carbonato de zinc...........	107° 40′.

Estos ángulos no difieren lo suficiente para que al simple aspecto sea posible distinguirlos.

Hay mas, siempre que las sustancias presentan así formas cristalinas muy poco diferentes, se ha reconocido que se reemplazan frecuentemente en proporciones cualesquiera, cuando cristalizan juntas en un mismo medio. Se encuentran efectivamente cristales naturales que están formados de dos ó mayor número de los carbonatos precedentes, combinados en proporciones cualesquiera. Estos cristales complexos afectan siempre la forma de romboedros, cuyos ángulos se hallan comprendidos entre los correspondientes á los romboedros de los carbonatos simples que les componen, acercándose mas á los ángulos del romboedro perteneciente al carbonato cuya proporcion domina en el cristal.

El sulfato de hierro y el sulfato de cobre, disueltos en el agua, se combinan con cantidades iguales de este líquido, y cristalizan bajo formas casi idénticas, si la cristalizacion se verifica á temperaturas convenientes. Estas temperaturas *no son absolutamente las mismas* para las dos sales, pero difieren en un corto número de grados. Si se pone un cristal de sulfato de cobre en una disolucion de sulfato de hierro, á una temperatura poco diferente de aquella en que el sulfato de hierro cristaliza bajo la misma forma, se ve que el cristal de sulfato de cobre continúa aumentando de volúmen en esta disolucion, asimilándose moléculas de sulfato de hierro. El mismo cristal colocado de nuevo en la disolucion de sulfato de cobre, va engrosándose con moléculas de sulfato de cobre; de suerte que puede obtenerse un cristal complexo, formado de capas alternativas de sulfato de cobre y de sulfato de hierro. Se distinguen fácilmente estas capas por los matices diferentes que presentan en la fractura del cristal.

Si se mezclan las disoluciones de los sulfatos de hierro y de cobre, y se abandona el líquido á una evaporacion lenta, resultan cristales que contienen á la vez sulfato de cobre y sulfato de hierro. Estos cristales afectan formas semejantes á las del sulfato de cobre, con ligeras alteraciones en los ángulos. Las proporciones de los dos sulfatos pueden por lo demas variar indefinidamente, segun las cantidades que de ellos se mezclen en la disolucion primitiva.

Las sustancias que tienen la propiedad de cristalizar segun formas pertenecientes á un mismo sistema cristalino, y presentan solo pequeñas diferencias en los valores absolutos de sus ángulos, *siendo* ademas *susceptibles de reemplazarse en proporciones cualesquiera*, formando siempre cristales semejantes, han recibido el nombre de *sustancias isomorfas*, y el fenómeno se llama *isomorfismo*.

Hemos dicho que las sustancias isomorfas presentaban constantemente composiciones químicas semejantes. Pero no siempre es facil

hacer que las sustancias que tienen composiciones químicas semejantes cristalicen bajo unas mismas formas. Así el carbonato de magnesia y el carbonato de protóxido de hierro se encuentran cristalizados en romboedros casi idénticos, y tienen constituciones químicas semejantes; pudiendo creerse, segun esto, que sea igualmente fácil obtener, bajo formas cristalinas idénticas, el sulfato de magnesia y el sulfato de hierro, que poseen tambien constituciones químicas semejantes. Sin embargo, si se mezclan las disoluciones de estas dos sales, y se abandona el líquido á la evaporacion, los dos sulfatos cristalizarán separadamente, bajo formas pertenecientes á sistemas distintos. Si se someten al análisis las dos especies de cristales, se echa de ver que no contienen las mismas proporciones de agua. Los sulfatos de hierro y de magnesia, cuando cristalizan á la misma temperatura y en una misma disolucion, se combinan con cantidades de agua diferentes: no presentan pues composiciones químicas semejantes, y no debe extrañarse que afecten formas cristalinas muy diferentes. El ejemplo que acabamos de citar no prueba, por consiguiente, que los sulfatos de hierro y de magnesia dejen de ser isomorfos.

La consideracion del *isomorfismo** es de la mayor importancia para la química, y la reproduciremos con frecuencia en lo que irá siguiendo, para establecer la constitucion de los cuerpos compuestos.

NOMENCLATURA QUÍMICA.

§ 45. El número de cuerpos diferentes que encontramos en la naturaleza ó producimos en nuestros laboratorios es tan considerable en el dia, que seria menester la memoria mas feliz para retener los nombres de todas estas sustancias y aplicarlos convenientemente, si cada una llevase el suyo propio, dado al acaso ó arbitrariamente. Así es que los químicos no tardaron en conocer la necesidad de crear una nomenclatura sistemática, que permitiera formar los nombres de los cuerpos compuestos, combinando los de los cuerpos simples que los constituyen, de manera que hasta cierto punto pudiera reconocerse, por el nombre solo, la naturaleza del cuerpo compuesto, y aun algunas de sus propiedades mas esenciales. Desgraciadamente el espíritu que presidió á esta nomenclatura debia llevar el sello de las ideas teóricas que reinaban en la época en que fué creada. Estas ideas se han modificado despues considerablemente: la ciencia ha hecho grandes progresos: no solo su dominio ha abrazado un campo mas vasto, sino que ella misma ha sido con-

* El fenómeno del isomorfismo ha sido descubierto por Mitscherlich.

siderada bajo nuevos aspectos. Resulta de aquí, que nuestra nomenclatura química, perfectamente racional en el momento que se estableció, no está ya en armonía con el estado actual de la ciencia, y para aplicarla á nuestras ideas modernas seria menester cambiarla completamente; si bien un cambio de tal entidad debe ser hecho con mucha circunspeccion: llevaria consigo el inconveniente de establecer una solucion de continuidad entre las obras que han precedido y las que siguieran á la adopcion de la nueva nomenclatura. Para realizar este cambio es menester elegir un momento oportuno, que no ha llegado todavía; pues la mayor parte de nuestras teorías químicas modernas se están discutiendo, y apénas podria esperarse al presente, que los químicos de los diferentes países se pusiesen de acuerdo sobre un sistema uniforme de nomenclatura: condicion indispensable sin embargo para que tal reforma pudiese ser realmente provechosa.

Como quiera que sea, vamos á exponer aquí las reglas de nomenclatura química, tales como fueron establecidas en 1787 por una comision de la Academia de Ciencias de Paris, con algunas ampliaciones y modificaciones que se han introducido despues; pero tendremos cuidado de indicar sucesivamente los defectos principales de que adolece esta nomenclatura en la actualidad.

§ 46. Los cuerpos simples son en el dia los únicos cuyo nombre queda independiente de toda regla, y abandonado al capricho del autor que hizo su descubrimiento, ó mencionó primero sus propiedades. Se trató de dar alguna significacion á estos nombres, deduciéndolos de una etimología griega, que recordase algunas de sus propiedades que se miraban como las mas características. Esta tendencia ha sido en general molesta; pues, por lo regular, el punto de vista bajo el que se consideraba el cuerpo era muy exclusivo, y mas tarde se han descubierto cuerpos que presentan en igual grado propiedades semejantes. Así, para citar solo algunos ejemplos, la palabra *oxígeno* viene de dos palabras griegas ὀξύς, ácido, y γεννάω, yo engendro; y quiere decir *que engendra ácidos*. En la época en que se eligió este nombre se creia que el oxígeno era el solo cuerpo que podia producir ácidos, mas en el dia sabemos que otros cuerpos tienen la misma propiedad. *Azoe* viene de α, partícula privativa, y de ζωή, vida (*que priva de la vida*); pero conocemos ahora otros muchos gases que ocasionan la muerte á los animales del mismo modo que lo verifica el azoe. Concluiremos de aquí, que los nombres mas insignificantes son tambien los que mas convienen para los cuerpos simples.

Los cuerpos simples, conocidos hasta el dia, son en número de

sesenta y dos. Damos á continuacion sus nombres con los signos abreviados por los que se ha convenido representarlos :

*	1. Oxígeno..............	O
*	2. Hidrógeno.	H
*	3. Azoe................	Az ó N (de Nitrógeno).
*	4. Azufre.	S (de la palabra latina *Sulphur*).
*	5. Selenio..............	Se
*	6. Teluro..............	Te
*	7. Cloro................	Cl
*	8. Bromo...............	Br
*	9. Iodo.	Io
*	10. Fluor...............	Fl
*	11. Fósforo........... .	Ph (» » *Phosphorus*).
*	12. Arsénico.............	As
*	13. Carbono.............	C
*	14. Boro.	Bo
*	15. Silicio..............	Si
*	16. Potasio..............	K (» » *Kalium*).
*	17. Sodio.	Na (» » *Natrium*).
*	18. Litio.	Li
*	19. Bario................	Ba
*	20. Estroncio...........	Sr (» » *Strontium*).
*	21. Calcio...............	Ca
*	22. Magnesio.	Mg
*	23. Glucinio.............	Gl
*	24. Aluminio.	Al
	25. Zirconio.............	Zr
	26. Torio...............	To
	27. Itrio.	Yt (» » *Yttrium*).
	28. Cerio...............	Ce
	29. Lantano.	La
	30. Didimo..............	Di
	31. Erbio...............	Er
	32. Terbio..............	Tr
*	33. Manganeso..........	Mn
*	34. Cromo..............	Cr
	35. Tungsteno.	Tg ó W (de la palabra alemana *Wolfram*).
	36. Molibdeno.	Mo
	37. Vanadio.	Vd
*	38. Hierro..............	Fe (de la palabra latina *Ferrum*).

* 39. Cobalto	Co	
* 40. Niquel	Ni	
* 41. Zinc	Zn	
* 42. Cadmio	Cd	
* 43. Cobre	Cu	(de la palabra latina *Cuprum*).
* 44. Plomo	Pb	(» » *Plumbum*).
* 45. Bismuto	Bi	
* 46. Mercurio	Hg	(» » *Hydrargyrium*).
* 47. Estaño	Sn	(» » *Stannum*).
48. Titano	Ti	
49. Tántalo ó Colombio	Ta	
50. Niobio	Nb	
51. Ilmenio (?)	Il	
52. Pelopio (?)	Pp	
* 53. Antimonio	Sb	(» » *Stibium*).
* 54. Urano	U	
* 55. Plata	Ag	(» » *Argentum*).
* 56. Oro	Au	(» » *Aurum*).
* 57. Platino	Pt	
58. Paladio	Pd	
59. Rodio	Rh	(» » *Rhodium*).
60. Iridio	Ir	
61. Rutenio	Ru	
62. Osmio	Os	

Hemos marcado con un asterisco (*) los nombres de los cuerpos simples que estudiaremos de una manera mas especial. Nos detendremos poco sobre los otros, pues la mayor parte no se conocen hasta el dia sino incompletamente, son muy raros ademas, y no han recibido ninguna aplicacion.

Los químicos convienen generalmente en dividir los cuerpos en dos grandes clases, en *metaloides, ó no metálicos*, y en *metales*. Hemos de ver muy luego los caractéres que han servido para establecer esta division.

La clase de los metaloides comprende los quince primeros cuerpos simples, inscritos en nuestra lista general, y la de los metales contiene todos los demas.

§ 47. Antes de exponer las reglas que se observan en la nomenclatura de los cuerpos compuestos, es necesario definir algunos términos generales que se aplican á estos cuerpos.

Se distinguen en los cuerpos compuestos los *ácidos*, las *bases* y as *sales*.

Las sales resultan de la combinacion de los ácidos con las bases. Cuando se somete una sal á la accion de una pila voltáica, la combinacion se deshace. Si la pila es muy enérgica, el compuesto se destruye enteramente, y se resuelve en sus elementos simples; pero, si la pila es mas débil, hay solamente separacion de ácido y de base: el ácido marcha al *polo positivo* de la pila, y la base al *polo negativo*. Las electricidades del mismo nombre se repelen, las de nombre contrario se atraen. Se ha supuesto que las moléculas de los cuerpos son eléctricas por sí mismas, ó que están rodeadas de atmósferas eléctricas. Si se adopta esta hipótesis, es claro que la molécula que se trasporta al polo positivo debe poseer la *electricidad negativa*, y la que va al polo negativo debe tener la *electricidad positiva*. Se admite, pues, que en el momento en que una sal se descompone bajo la influencia de la pila, la molécula ácida toma la electricidad negativa, y la molécula básica la electricidad positiva; y por esto se dice que el ácido es el elemento *electronegativo*, y la base el elemento *electropositivo* de la sal.

El modo con que una sal se descompone, bajo la influencia de la pila, basta para caracterizar el *elemento ácido* y el *elemento básico*. El elemento ácido ó electronegativo es el que marcha al polo positivo de la pila, y el elemento básico ó electropositivo el que pasa al polo negativo.

Cuando el ácido y la base son insolubles en el agua, se distinguen por otras propiedades muy fáciles de comprobar. Un gran número de materias orgánicas colorantes son alteradas de muy diferente modo por los ácidos y las bases. La tintura de tornasol, tal como se encuentra en el comercio, tiene un color azul violado: si se vierte un ácido sobre esta tintura, el color azul es reemplazado inmediatamente por un color rojo claro. *Los ácidos enrojecen, pues, la tintura azul del tornasol.*

Si se vierte la disolucion de una base en la misma tintura, el color azul no es alterado; pero si se echa una cantidad suficiente de una disolucion básica sobre la tintura de tornasol, enrojecida de antemano por un ácido, el color rojo se vuelve azul. *Las bases solubles restablecen, pues, el color azul de la tintura de tornasol enrojecida por un ácido.*

La tintura amarilla de la curcuma *no es alterada* por las disoluciones ácidas, y es *enrojecida* por las disoluciones básicas.

La tintura morada del jarabe de violetas es *enrojecida* por los ácidos, y enverdecida por las bases.

Es claro que estos caractéres no pueden servir sino para los ácidos y las bases solubles. Cuando estos cuerpos son insolu-

bles, pueden ser caracterizados por la accion que experimentan bajo la influencia de la pila, ó por su combinacion con los cuerpos ácidos ó básicos, sobre cuya naturaleza no haya incertidumbre alguna.

Muchos cuerpos solubles no ejercen accion sobre los colores de los reactivos coloreados: no enrojecen la tintura azul del tornasol, ni restablecen el color azul de esta tintura enrojecida por una pequeña cantidad de ácido. Estos cuerpos reciben el nombre de *indiferentes* ó *neutros á los reactivos coloreados*. Hay una multitud de sales que presentan esta propiedad, porque las reacciones que su ácido y su base ejercen sobre las materias colorantes vegetales, se han neutralizado de una manera perfecta: estas sales se llaman *sales neutras á los reactivos coloreados*. Este estado de neutralidad pende de las fuerzas relativas de los ácidos y de las bases. Una base muy fuerte no puede ser jamas completamente neutralizada, en su accion sobre los reactivos coloreados, por un ácido débil; del mismo modo que una base débil no puede destruir enteramente la reaccion ácida que un ácido muy enérgico ejerce sobre estos reactivos. Se concibe tambien que una sal, que se porte como neutra con un cierto reactivo coloreado, podrá presentar una reaccion ácida ó básica con otro reactivo mas sensible.

Existen cuerpos que hacen el papel de ácidos relativamente á las bases muy fuertes, y el de bases con respecto á los ácidos muy enérgicos. En vista de ello se concibe que la definicion de ácidos y de bases no tendrá nada de absoluto, puesto que el mismo cuerpo puede portarse como un ácido ó como una base, segun las circunstancias.

§ 48. El oxígeno es de todos los cuerpos simples el que se encuentra mas esparcido en la naturaleza, y forma mayor número de combinaciones importantes. Los compuestos de que hace parte han sido los primeros que los químicos han estudiado con cuidado; y por eso los sabios que han fundado nuestro sistema de nomenclatura fijaron muy particularmente su atencion sobre este cuerpo. Puede decirse aun, que la importancia exclusiva que dieron al oxígeno ha contribuido en mucho á que su sistema sea defectuoso.

Las combinaciones que el oxígeno forma con los otros cuerpos simples son ácidas, básicas ó indiferentes. Se ha dado el nombre de *óxidos* á las combinaciones básicas é indiferentes, y el de *oxácidos*, ó simplemente de *ácidos*, á las combinaciones ácidas.

El hierro, el cobre, el plomo, forman combinaciones básicas con el oxígeno, que reciben los nombres de *óxido de hierro*, *óxido de cobre* y *óxido de plomo*.

El carbono forma con el oxígeno una combinacion indiferente, que se llama *óxido de carbono.*

§ 49. Cuando se establecieron las reglas de nuestra nomenclatura, se creia que un mismo cuerpo, combinándose con el oxígeno, solo podia formar *dos* combinaciones ácidas. Para denominarlas, se ponia á continuacion de la palabra *ácido* el nombre latino de la segunda sustancia, terminándole en *oso*, para la combinacion menos oxígenada, y en *ico*, para la que contenia mas oxígeno. Así, conocíanse dos ácidos resultantes de la combinacion del azufre con el oxígeno, se daba á la combinacion menos oxigenada el nombre de *ácido sulfuroso*, y á la mas oxigenada el de *ácido sulfúrico*.

Posteriormente se descubrieron dos nuevos ácidos, producidos tambien por la combinacion del azufre con el oxígeno : una de estas combinaciones contenia menos oxígeno que el ácido sulfuroso, y la otra se encontraba entre el ácido sulfuroso y el ácido sulfúrico. Fué menester modificar la regla general que se habia establecido para la nomenclatura de los ácidos. Se convino en formar el nombre del ácido menos oxigenado que el ácido sulfuroso, anteponiendo al de este último la palabra *hipo* (ὑπό, debajo), y se le llamó *ácido hiposulfuroso*. En cuanto al ácido que se hallaba entre el sulfuroso y el sulfúrico, se convino aun, siguiendo la misma regla, en darle el nombre de este último, precediendo la palabra *hipo* á la de sulfúrico; y se le denominó *ácido hiposulfúrico*.

Se salió así del paso momentáneamente, eludiendo solo la dificultad. En efecto, en los últimos años se han descubierto tres nuevas combinaciones ácidas del azufre con el oxígeno, todas tres comprendidas entre los ácidos hiposulfuroso y sulfuroso. Para denominar estos nuevos compuestos era menester establecer una nueva regla de nomenclatura, y los químicos no están acordes todavía sobre este punto. Pero aun suponiendo que se llegue, por medio de una regla adicional, á dar nombres á los nuevos compuestos, conservando intactos los primeros principios de la nomenclatura, es evidente que la dificultad quedaria siempre aplazada : dificultad que por otra parte no tardará en presentarse, pues no es posible dudar que se descubran pronto nuevas combinaciones ácidas del azufre con el oxígeno, tropezando entónces con los mismos inconvenientes para formar sus nombres, si han de seguirse los principios de la actual nomenclatura.

Conocemos cinco combinaciones del cloro con el oxígeno, cuatro de ellas han recibido los siguientes nombres, conforme á las reglas de nomenclatura que acabamos de exponer : ácido *hipocloroso*, *ácido cloroso*, *ácido hipoclórico* y *ácido clórico*.

Una quinta combinacion hallada despues que el ácido clórico contiene mas oxígeno que este último. Si se adoptaran rigurosamente las reglas primitivas de nomenclatura, seria menester dar á esta combinacion el nombre de ácido clórico, y quitarlo á la que lo ha llevado hasta el presente; concibiéndose, por este y otros muchos ejemplos que podrian citarse, los inconvenientes graves, la confusion y errores que ocasionarian á la ciencia semejantes alteraciones. La dificultad se ha salvado ahora, dando al nuevo ácido mas oxigenado de cloro el nombre de *ácido hiperclórico* (de ὑπέρ, sobre), ó simplemente de *ácido perclórico*. Así las cinco combinaciones del cloro con el oxígeno, colocadas segun las proporciones crecientes de oxígeno, se distinguen con los nombres de

Acido hipocloroso;
Acido cloroso;
Acido hipoclórico;
Acido clórico;
Acido perclórico.

Tales son las reglas en que hasta el dia se han fijado los químicos para formar la nomenclatura de los oxácidos. Los ejemplos que acabamos de citar, y la discusion que acompaña, bastan para hacer ver lo insuficiente y defectuoso de dichas reglas, y cuánto ha de echarse menos el que se las ponga en armonía con el estado actual de nuestros conocimientos.

§ 50. Un mismo cuerpo, combinándose con el oxígeno, suele formar muchos compuestos básicos ó indiferentes, y estos son los que hemos llamado *óxidos*. La experiencia ha demostrado que, en estos diferentes óxidos, las proporciones de oxígeno, combinadas con una misma cantidad del segundo cuerpo, se hallan entre sí en relaciones muy simples, por ejemplo, de $\frac{1}{2} : 1 : \frac{3}{2} : 2 : 3 : 4$. Las consideraciones que iremos presentando en lo sucesivo fijarán la eleccion de la sustancia, en la cual se admite que existe la proporcion 1 de oxígeno: se le da el nombre de *protóxido*. La combinacion que encierra la proporcion $\frac{3}{2}$ de oxígeno toma el nombre de *sesquióxido*, y recibe el de *deutóxido* ó *bióxido*, la que contiene la proporcion 2 de oxígeno. Llevan aun los nombres de *tritóxido* y *cuadróxido* las combinaciones en que entran 3 ó 4 proporciones de oxígeno. Por último, los óxidos con menos oxígeno que el protóxido se denominan *subóxidos* ú *oxídulos*.

Así el manganeso forma con el oxígeno tres combinaciones no ácidas, ú *óxidos*, en las cuales las proporciones de oxígeno combinadas con una misma cantidad de manganeso son entre sí

como $1 : \frac{3}{2} : 2$. Estas combinaciones se llamarán en consecuencia *protóxido de manganeso, sesquióxido de manganeso, bióxido de manganeso.*

El óxido mas oxigenado toma frecuentemente el nombre de *peróxido*; el bióxido de manganeso, por ejemplo, es llamado muchas veces *peróxido de manganeso.*

De los tres óxidos de manganeso, dos son bases; á saber, el protóxido y el sesquióxido; el tercero, el bióxido ó peróxido, es un cuerpo indiferente. Algunos autores designan las dos combinaciones básicas de distinto modo al que hemos adoptado; y así llaman al protóxido de manganeso *óxido manganoso*, y al sesquióxido *óxido mangánico*. Esta nomenclatura es parecida á la que se ha adoptado para los ácidos; pero presenta los mismos inconvenientes, porque no se presta fácilmente á la formacion de los nombres que hayan de darse á las nuevas combinaciones básicas que se descubran en adelante.

§ 51. La regla que se observa en la nomenclatura de las sales es muy sencilla. Se forman los nombres de las sales combinando los del ácido y la base de tal manera que el nombre del ácido defina el género, y el de la base determine la especie. Cuando el nombre del ácido acaba en *ico*, el nombre genérico de la sal termina en *ato*: así el ácido sulfúrico forma *sulfatos*, y el ácido fosfórico *fosfatos*. Cuando el nombre del ácido acaba en *oso*, la terminacion del nombre genérico de la sal es en *ito*; por ejemplo, el ácido sulfuroso forma *sulfitos*, y el ácido hiposulfuroso, *hiposulfitos*.

Al nombre genérico del ácido se pospone el de la base. Así se dice: *sulfato de protóxido de manganeso, sulfato de sesquióxido de manganeso*, ó *sulfato de óxido manganoso, sulfato de óxido mangánico*; ó simplemente *sulfato manganoso, sulfato mangánico*.

Se dice igualmente, *sulfito de protóxido de manganeso* ó *sulfito manganoso*.

El ácido y la base suelen combinarse en muchas proporciones. Así el protóxido de potasio, llamado comunmente *potasa*, forma con el ácido sulfúrico dos combinaciones, dos *sulfatos*: el primero es neutro á los reactivos coloreados, y lleva el nombre de *sulfato neutro de potasa*, ó simplemente de *sulfato de potasa*: el segundo ejerce, por el contrario, una reaccion muy ácida sobre estos reactivos; contiene para la misma cantidad de potasa doble proporcion de ácido sulfúrico, y recibe el nombre de *sulfato ácido de potasa*, ó mejor, de *bisulfato de potasa*: este último nombre recuerda inmediatamente las relaciones de composicion que existen entre este sulfato y el sulfato neutro.

Algunas veces el ácido y la base forman dos combinaciones en que las cantidades de ácido, combinadas con la misma cantidad de base, son entre sí como 2 : 3; y esto es lo que se verifica para el ácido carbónico y la sosa. La primera combinacion toma el nombre de *carbonato neutro de sosa* ó simplemente de *carbonato de sosa*, y la segunda el de *sesquicarbonato de sosa*.

Existen tambien sales en que la cantidad de ácido es menor que la contenida en la sal neutra, y se las llama *subsales*. Así el protóxido y sesquióxido de hierro forman con el ácido sulfúrico sulfatos neutros, y sulfatos básicos ó subsales, que se llaman *subsulfatos de protóxido* ó *de sesquióxido de hierro*.

En fin, sucede con frecuencia que dos sales se combinan entre sí formando compuestos mas complexos, que se designan con el nombre de *sales dobles*. El sulfato de alúmina y el sulfato de potasa, por ejemplo, forman un *sulfato doble*, que se llama *sulfato doble de alúmina* y *potasa*.

§ 52. El agua es una sustancia compuesta que se porta como un ácido relativamente á las bases fuertes, y como una base con respecto á los ácidos enérgicos: en ambos casos forma verdaderas sales. Se da el nombre genérico de *hidratos* á las sales en que el agua hace las veces de ácido; y se dice *hidrato de potasa*, *hidrato de protóxido de hierro* ó *hidrato ferroso*. En cuanto á las sales en que el agua hace el papel de base, sus nombres deberian formarse uniendo el nombre de la base con el del ácido, modificado segun ántes lo hemos prescrito (§ 51): así deberia decirse: *sulfato de agua*, *fosfato de agua*..... Desgraciadamente se quebrantan aun en esta ocasion las reglas de nomenclatura, y se llaman estas combinaciones *ácido sulfúrico hidratado*, *ácido fosfórico hidratado*. Una misma cantidad de ácido suele combinarse con muchas proporciones de agua, que guardan siempre entre sí relaciones sencillas; el ácido sulfúrico, por ejemplo, se combina con cantidades de agua que son entre sí como 1 : 2 : 3. Estas combinaciones llevan los nombres de *ácido sulfúrico protohidratado* ó *monohidratado*, de *ácido sulfúrico bihidratado* y de *ácido sulfúrico trihidratado*.

§ 53. Las combinaciones de los metales entre sí han recibido el nombre de *aleaciones*, que ya tenian en las artes; y decimos: *aleacion de cobre y zinc*, *aleacion de plomo y estaño*. Cuando el mercurio es uno de los metales constituyentes de la aleacion, se da al compuesto el nombre de *amalgama*: por ejemplo, una aleacion de plata y de mercurio se llama *amalgama de plata*.

§ 54. Las combinaciones de los cuerpos metaloideos con los metales se designan terminando en *uro* el nombre del cuerpo meta-

loideo, y posponiéndole el nombre del metal. Así la combinacion del cloro con el manganeso se llama *cloruro de manganeso*; la del azufre con el hierro, *sulfuro de hierro*.

Cuando el cuerpo metaloideo forma con el cuerpo metálico muchas combinaciones, la experiencia demuestra que las cantidades de metaloide, combinadas con el mismo peso de metal, se hallan entre sí en relaciones sencillas. La nomenclatura de estos compuestos se forma segun la regla adoptada para los óxidos, y se dice : *protocloruro de manganeso*, *sesquicloruro de manganeso*; *protosulfuro, sesquisulfuro* y *bisulfuro de hierro*. Siempre que estas combinaciones binarias se someten á la accion descomponente de la pila, el cuerpo metaloideo se dirige al polo positivo, y se conduce por consiguiente como elemento electronegativo; miéntras el cuerpo metálico va al polo negativo, y se porta como elemento electropositivo. Así pues, en estos compuestos, lo mismo que en las sales, *el cuerpo electronegativo determina el género, y el cuerpo electropositivo define la especie*.

§ 55. Los cuerpos metaloideos forman entre sí un crecido número de combinaciones, y su nomenclatura sigue las mismas reglas que la de los metaloides con los metales. Decimos : *cloruro de hidrógeno*; *sulfuro de hidrógeno*, *protocloruro de azufre*, *percloruro de azufre*. El nombre que determina el género es el que se refiere siempre al elemento electronegativo de la combinacion.

§ 56. Ciertas combinaciones de los metaloides entre sí son ácidos tan enérgicos, que casi en nada ceden á los oxácidos mas poderosos: tales son : el cloruro de hidrógeno, el fluoruro de hidrógeno, etc. Por desgracia se ha juzgado conveniente establecer para estos compuestos una regla particular de nomenclatura. Se ha pensado que en estos nuevos ácidos, el hidrógeno hacia un papel análogo al del oxígeno en los oxácidos, y se les ha dado el nombre de *hidrácidos*. Pero hay aquí un error grave : en los oxácidos el *oxígeno es el elemento electronegativo*, al paso que en los hidrácidos, el *hidrógeno es constantemente el elemento electropositivo*.

De cualquier modo que sea, la nomenclatura de los hidrácidos está tan generalmente admitida, que nos vemos forzados á adoptarla. El cloruro de hidrógeno toma el nombre de *ácido clorhídrico*, y el sulfuro de hidrógeno el de *ácido sulfhídrico*. Se dan frecuentemente á estos mismos ácidos los nombres de *ácido hidroclórico*, de *ácido hidrosulfúrico*, que son aun mas defectuosos que los primeros; pues se infringe la regla general segun la cual debe siempre empezarse el nombre del cuerpo compuesto por el del elemento electronegativo.

§ 57. Cuando las combinaciones de los metaloides con el hidrógeno son gaseosas, y sus reacciones sobre los reactivos coloreados son nulas ó poco marcadas, reciben con frecuencia nombres que se deducen todavía de una regla excepcional. Así las combinaciones gaseosas del carbono con el hidrógeno, los carburos de hidrógeno gaseosos, se llaman *hidrógenos carbonados*. Las combinaciones gaseosas del fósforo con el hidrógeno, ó fosfuros de hidrógeno gaseosos, llevan el nombre de *hidrógenos fosforados*. La combinacion gaseosa del azufre con el hidrógeno, el ácido sulfhídrico, cuya accion ácida sobre la tintura de tornasol, aunque débil, es con todo muy manifiesta, se llama frecuentemente *hidrógeno sulfurado*. Esta nomenclatura excepcional es muy incómoda, pues el estado gaseoso de los cuerpos pende de la temperatura y de la presion, y para proceder consecuentemente, será menester dar dos nombres diferentes á un mismo cuerpo, segun las circunstancias en que se le considere.

§ 58. Ciertas combinaciones del azufre con los cuerpos metálicos y no metálicos presentan una analogía completa con las combinaciones correspondientes del oxígeno : analogía que pasó enteramente desapercibida cuando se formaron las reglas de nomenclatura química. Se conocen sulfuros ácidos que se ha convenido en llamar *sulfácidos*; y sulfuros básicos á que dan el nombre de *sulfobases*. Los sulfuros ácidos ó sulfácidos se combinan con los sulfuros básicos ó sulfobases, y forman verdaderas sales que se denominan *sulfosales*. El azufre y el carbono, por ejemplo. forman una combinacion, el sulfuro de carbono, que corresponde por sus propiedades al ácido carbónico, y recibe por esta causa el nombre de ácido *sulfocarbónico*. Así como el ácido carbónico se combina con los oxidos básicos para formar carbonatos, de la misma manera el ácido sulfocarbónico se combina con ciertos sulfuros básicos ó sulfobases para formar sales, que se llaman *sulfocarbonatos*. El ácido sulfocarbónico se combina, por ejemplo, con el monosulfuro de potasio, y forma un *sulfocarbonato de monosulfuro de potasio*, que se designa muchas veces, aunque impropiamente, con el nombre de *sulfocarbonato de potasa*.

Algunas combinaciones del cloro con los metaloides pueden, segun parece, hacer tambien las veces de ácidos con relacion á ciertos cloruros metálicos. Se da el nombre de *clorácidos* á estos cloruros ácidos, y el de *clorobases* á los cloruros metálicos básicos. Por fin, llámanse *clorosales* las combinaciones que los clorácidos forman con las clorobases.

Se ve segun esto, que muchos metaloides son susceptibles de

desempeñar un papel semejante en un todo al del oxígeno; y por lo mismo es sensible que en nuestro sistema de nomenclatura se hayan seguido reglas excepcionales relativamente á estos cuerpos.

Tales son las principales reglas de nomenclatura química adoptadas aun por la mayor parte de los químicos modernos, y que nosotros seguiremos en todo el curso de esta obra. Haremos notar en adelante algunas excepciones que ha prohijado el uso, pero que dichosamente son muy raras; y nos bastará mencionarlas conforme se vayan presentando.

NOTACION Y FÓRMULAS QUÍMICAS.

§ 59. Hemos dado (§ 46) la lista de los cuerpos simples conocidos actualmente, y hemos escrito al lado de cada uno, el signo ó símbolo por el cual se ha convenido representarlo. A estos símbolos asociaremos una idea mas precisa; no solamente nos servirán para recordar la naturaleza de un cuerpo, sino para indicar una cantidad suya ponderable y determinada, á la que daremos el nombre de *equivalente químico del cuerpo*. Nos seria imposible desde ahora dar una definicion clara y comprensible de los equivalentes químicos; y procuraremos establecer estas nociones sucesivamente, segun vayamos estudiando los diversos cuerpos compuestos.

Por el pronto nos limitaremos á hacer ver cómo pueden formarse, por medio de los signos que hemos adoptado para los cuerpos simples, especies de fórmulas que representen la composicion de los cuerpos compuestos. Estas fórmulas, que reciben el nombre de *fórmulas químicas*, son muy útiles para presentar las reacciones químicas bajo un reducido cuadro, y las emplearemos desde el principio de nuestros estudios; teniendo cuidado sin embargo de aclarar su significacion al paso que adelantemos, y mas fácil y oportunamente que lo haríamos en el momento.

Las fórmulas químicas de las combinaciones binarias se forman, colocando á continuacion uno de otro los signos de cada uno de los cuerpos simples que entran en el compuesto. Se ha convenido en escribir siempre ántes el signo del elemento electropositivo. Cuando un cuerpo electropositivo R forma muchas combinaciones con un mismo cuerpo electronegativo O, la experiencia ha hecho ver que: *si se calcula la composicion de estas diversas combinaciones para un mismo peso del cuerpo electropositivo, las cantidades ponderables del cuerpo electronegativo guardan entre sí relaciones racionales y muy sencillas; por ejemplo, como los números* 1, $\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$, 3, $\frac{7}{2}$, etc., etc.

Se da á la primera combinacion, al protóxido, la fórmula RO, y á las otras, las de $RO^{\frac{3}{2}}$, RO^{2}, $R^{\frac{5}{2}}$, RO^{3}, $RO^{\frac{7}{2}}$, etc., etc.

Así el manganeso forma con el oxígeno cinco combinaciones. las dos primeras son óxidos básicos, la tercera es un óxido indiferente, y las dos últimas, las mas oxigenadas, son ácidos. Estas combinaciones se expresan por las fórmulas siguientes:

Protóxido de manganeso...........	MnO
Sesquióxido de manganeso.........	$MnO^{\frac{3}{2}}$
Bióxido de manganeso.............	MnO^{2}
Acido mangánico..................	MnO^{3}
Acido permangánico..............	$MnO^{\frac{7}{2}}$.

En estas fórmulas los símbolos Mn y O no definen solamente la naturaleza de los dos cuerpos, sino que representan ademas relaciones de pesos determinados y constantes. Veremos mas adelante por qué razones, que ahora no podemos exponer, los químicos escriben las fórmulas del sesquióxido de manganeso y del ácido permangánico, $Mn^{2}O^{3}$, y $Mn^{2}O^{7}$, que presentan las mismas relaciones, entre las cantidades ponderables de manganeso y de oxígeno, que las fórmulas $MnO^{\frac{3}{2}}$ y $MnO^{\frac{7}{2}}$.

El azufre forma con el oxígeno siete combinaciones. Si se refiere la composicion de cada una de ellas á un mismo peso S de azufre, las cantidades ponderables de oxígeno, que entran en estos compuestos, se hallarán entre sí como los números 1, 1, $\frac{5}{4}$, $\frac{5}{3}$, 2, $\frac{5}{2}$, 3. Designaremos estas combinaciones con las fórmulas siguientes:

Acido hiposulfuroso................	SO
Acido hiposulfúrico trisulfurado.....	SO
Acido hiposulfúrico bisulfurado.....	$SO^{\frac{5}{4}}$
Acido hiposulfúrico monosulfurado..	$SO^{\frac{5}{3}}$
Acido sulfuroso...................	SO^{2}
Acido hiposulfúrico..............	$SO^{\frac{5}{2}}$
Acido sulfúrico...................	SO^{3}.

Estas fórmulas no serán sin embargo las que nos servirán para indicar estos cuerpos; y en adelante los señalaremos por las siguientes, que presentan las mismas relaciones entre las cantidades ponderables de azufre y de oxígeno :

Acido hiposulfuroso...............	S^2O^2
Acido hiposulfúrico trisulfurado....	S^3O^5
Acido hiposulfúrico bisulfurado.....	S^4O^5
Acido hiposulfúrico monosulfurado*.	S^5O^5
Acido sulfuroso....................	SO^2
Acido hiposulfúrico...............	S^2O^5
Acido sulfúrico..................	SO^3.

Las fórmulas S^2O^2, S^2O^5 se refieren á los mismos cuerpos que las SO, $SO^{\frac{5}{2}}$; mas las primeras representan pesos de estos cuerpos, dobles de los indicados por las segundas. La fórmula S^4O^5 señala el mismo cuerpo que la $SO^{\frac{5}{4}}$, pero se refiere á un peso cuádruplo de este cuerpo. En fin, la fórmula S^5O^5 representa un peso cinco veces mayor que la fórmula SO.

Encontramos aquí, entre los compuestos del azufre con el oxígeno, dos combinaciones, el ácido hiposulfuroso S^2O^2 y el ácido hiposulfúrico trisulfurado S^3O^5, que presentan exactamente las mismas relaciones entre las cantidades de azufre y de oxígeno, y tienen por lo tanto la misma composicion, aun cuando sean *dos sustancias perfectamente distintas*. Se llaman *cuerpos isoméricos* los que, si bien presentan composiciones idénticas, difieren no obstante en el conjunto de sus propiedades.

Se escribe la formula de una sal poniendo á continuacion del símbolo de la base el del ácido, y separándolos solamente con un punto. Todavia precede en este caso el símbolo del cuerpo electropositivo. Así el sulfato de protoxido de manganeso se escribe $MnO.SO^3$.

Si la sal contiene muchas proporciones de ácido o de base, se antepone, como coeficiente, al símbolo de la sustancia que entra en muchas proporciones, el guarismo que expresa el número de estas proporciones. Así el peso Mn^2O^3 de sesquioxido de manganeso forma un sulfato con un peso de ácido sulfúrico representado por 3 veces SO^3; y la formula de la sal se escribirá $Mn^2O^3.3SO^3$.

La formula $PbO.AzO^5$ representa el nitrato neutro de plomo, y la

* Los nombres de *ácido hiposulfúrico monosulfurado*, *hiposulfúrico bisulfurado*, é *hiposulfúrico trisulfurado*, que hemos dado á las tres combinaciones del azufre con el oxígeno, que tienen por fórmulas S^5O^5, S^4O^5, S^3O^5, no se han formado segun las reglas de nomenclatura que hemos expuesto. Estos nombres expresan una relacion que verdaderamente existe entre las fórmulas de estos cuerpos y la del ácido hiposulfúrico. En efecto, la formula S^3O^5 del ácido hiposulfúrico trisulfurado difiere de la S^2O^5 del ácido hiposulfúrico, en que contiene S más; la fórmula S^4O^5 del ácido hiposulfúrico bisulfurado se distingue de la S^2O^5 del ácido hiposulfúrico, en que contiene S^2 más. Por último, la fórmula S^5O^5 del ácido hiposulfúrico monosulfurado se diferencia de la S^2O^5, en que le excede en S^3.

$2PbO.AzO^5$ indica un nitrato básico de plomo que contiene, para el mismo peso de ácido nítrico, un peso doble de óxido de plomo.

La fórmula $PbO.AzO^5$ expresa un cierto peso de nitrato neutro de plomo; y si se quiere indicar un peso doble de este nitrato, se escribirá $2(PbO.AzO^5)$.

Hemos visto (§ 44) que en una sal neutra una porcion de la base podia ser sustituida por una cantidad equivalente de otra base isomorfa. Por ejemplo, hemos dicho que existian en la naturaleza carbonatos cristalizados en romboedros, muy poco diferentes de los que presenta el carbonato de cal, y que estos carbonatos no diferian *químicamente* del carbonato de cal, sino en que una proporcion mas ó menos considerable de este último se hallaba reemplazada por los carbonatos isomorfos de magnesia, de protóxido de hierro y de protóxido de manganeso. La fórmula de un carbonato así compuesto se escribe :

$$(CaO,MgO,FeO,MnO).CO^2.$$

Las nociones que acabamos de dar sobre notacion y fórmulas químicas nos bastarán por ahora, y las completaremos sucesivamente segun la ocasion se vaya presentando.

DIVISION DE LOS CUERPOS SIMPLES EN METALOIDES Y EN METALES.

§ 60. Los químicos están generalmente de acuerdo en dividir los cuerpos simples en *metaloides* (de μέταλλον, metal, y de εἶδος, forma, semejanza; *que se parece á los metales*) y en *metales*; pero ha llegado á ser difícil el fijar los caractéres precisos en que se funda esta division.

Los metales son opacos; están dotados de un brillo ó lustre particular que se llama *brillo ó lustre metálico*, y son buenos conductores del calor y de la electricidad. Los metaloides no presentan estas propiedades en el mismo grado.

Esta division se funda en propiedades que no son absolutas, y que se hallan mas ó menos desenvueltas en los diversos cuerpos simples; es ademas vaga é incierta relativamente á ciertos cuerpos simples, que con igual razon pueden colocarse entre los metaloides como entre los metales. Así el arsénico, que presenta un brillo metálico tan marcado como el de muchos metales, se acerca sin embargo por muchas de sus propiedades químicas al fosforo, que todos los químicos colocan entre los metaloides. El carbono afecta estados muy diversos; tan pronto no presenta ya ninguno de los caractéres que

acabamos de asignar á los metales, es decir, que carece de brillo metálico, y es muy mal conductor del calor y de la electricidad; como, por el contrario, suele manifestar algunos caractéres de los metales; así, en el estado de grafito, posee un brillo metálico muy perceptible, y el carbon de leña, fuertemente calcinado, conduce bastante bien la electricidad.

La propiedad de ser buenos conductores del calor y de la electricidad no la poseen en alto grado, sino los metales que se han obtenido agregados; y esto en razon de su gran fusibilidad, de su ductilidad ó de la facilidad con que se dejan agregar por la percusion. Pero hasta el dia muchos metales no pueden obtenerse sino en estado de materia pulverulenta, y su conductibilidad, para el calor y la electricidad, no es entónces bastante marcada.

En las combinaciones binarias que los metales forman con los metaloides, *estos hacen siempre el papel de elemento electronegativo.*

Los metales y las metaloides se combinan con el oxígeno. Las combinaciones de los metales con el oxígeno son por lo regular *óxidos electropositivos*, que hacen el papel de *bases;* y estas son en general las que contienen menor proporcion de oxígeno. Algunas combinaciones mas oxigenadas se conducen como *óxidos indiferentes;* y en fin las mas oxigenadas de todas suelen ser *ácidos*, que forman verdaderas sales con los óxidos básicos.

Los metaloides, combinándose con el oxígeno, forman generalmente *óxidos indiferentes*, ó *combinaciones ácidas*. Sin embargo algunas de estas combinaciones se portan como bases, aunque muy débiles, con relacion á los ácidos fuertes; pero estas mismas combinaciones hacen el papel de ácidos débiles respecto de las bases enérgicas.

Se ve ahora claramente la razon que hemos tenido ántes para decir, que los caractéres sobre que se funda la division de los cuerpos simples en metaloides y en metales eran vagos é inciertos; y se concibe lo difícil que será muchas veces el decidir, si ciertos cuerpos deben colocarse entre los metaloides ó entre los metales; puesto que, por algunos de sus caractéres, estos cuerpos se acercan á los metales, y por otros á los metaloides.

Conservaremos no obstante esta division, ya por ser cómoda para el estudio, como por hallarse adoptada por casi todos los químicos. Tendremos por metaloides los quince cuerpos simples cuyos nombres siguen:

1. Oxígeno............... O
2. Hidrógeno............ H
3. Azoe................. Az ó N

4. Azufre............... S
5. Selenio............... Se
6. Teluro............... Te
7. Cloro................ Cl
8. Bromo............... Br
9. Iodo................. Io
10. Fluor................ Fl
11. Fósforo.............. Ph
12. Arsénico............. As
13. Boro................ Bo
14. Silicio............... Si
15. Carbono.............. C.

ÓRDEN QUE SE SEGUIRÁ EN EL ESTUDIO DE LOS CUERPOS.

§ 61. Empezaremos el estudio de los cuerpos por el de los metaloides. A continuacion de cada cuerpo simple estudiaremos las combinaciones que este forma con todos los demas cuerpos simples precedentemente estudiados. Solo nos apartaremos de esta regla en las numerosas combinaciones que el carbono forma con el hidrógeno, el oxígeno y el azoe, reservando su estudio para el fin del curso, en una parte separada, que llamaremos *Química orgánica*. Aun cuando la mayor parte de estas sustancias hayan sido extraidas del reino orgánico, no seria esto razon suficiente para que, en un tratado sistemático, pudieramos separarlas de otras combinaciones que forma el carbono; pero en un curso elemental esta separacion es útil, porque el estudio de las numerosas combinaciones orgánicas es complicado y difícil, y es bueno que el discípulo no le principie hasta que se halle bien familiarizado con los principales hechos de la química.

PRIMERA PARTE.

METALOIDES.

OXÍGENO.

Equivalente = 100.

§ 62. El oxígeno * es un gas incoloro, sin olor ni sabor, muy esparcido en la naturaleza, aunque no se le encuentra puro y aislado. Mezclado con el gas azoe, en la proporcion de $\frac{1}{5}$ próximamente de oxígeno y $\frac{4}{5}$ de azoe, constituye el aire atmosférico. Se combina con casi todos los demas cuerpos simples, y produce una infinidad de cuerpos compuestos.

Para aislar el oxígeno del aire atmosférico, seria menester absorber el gas azoe, es decir, combinar este último con un cuerpo que no tuviese accion sobre el gas oxígeno, y que formase con el azoe un compuesto sólido ó líquido, fácil de separar. Aun cuando no conocemos hasta el dia ningun cuerpo que goce de estas propiedades, tenemos sin embargo á nuestra disposicion muchos cuerpos compuestos que contienen oxígeno, y que le sueltan fácilmente, en todo ó en parte, cuando se les somete á una temperatura convenientemente elevada.

§ 63. El óxido rojo de mercurio, compuesto de mercurio y de oxígeno, pierde su oxígeno al calor de una lámpara de alcohol. Se pone la sustancia en un tubo de vidrio *ab* (fig. 121 y 122), cerrado por uno de sus extremos; y al opuesto *b* se adapta, por medio de un tapon de corcho, un tubo de vidrio *cd* encorvado en *c* y en *d*, que llamaremos á veces *tubo de desprendimiento* ó *tubo abductor*. Su extremidad encorvada se sumerge en una cuba V llena de agua. Se calienta el tubo *ab*, por la parte que contiene el oxido, con una lám-

* El descubrimiento del oxígeno se atribuye ordinariamente á Priestley, quien le descubrió el año de 1774. Poco despues, Scheele y Lavoisier, sin conocer los esperimentos del químico ingles, obtuvieron este cuerpo empleando cada uno procedimientos diferentes.

para de alcohol (fig. 121), ó por medio de algunas ascuas dispuestas en un pequeño hornillo (fig. 122). El aire contenido en el tubo se

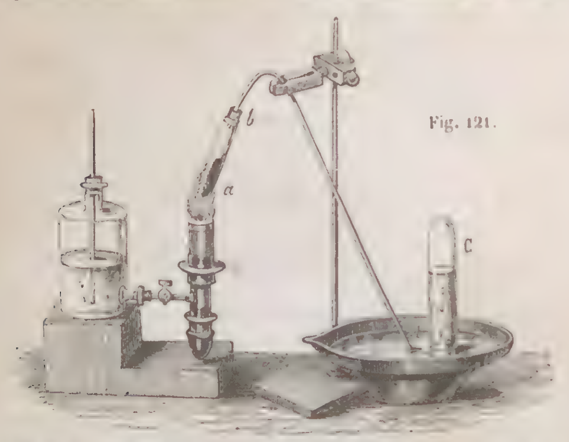


Fig. 121.

dilata por el calor, su fuerza elástica aumenta, y parte de él se escapa en forma de burbujas por entre el agua de la cuba V. No tarda el óxido en adquirir la temperatura á que se descompone; sus dos elementos se separan: el mercurio viene á condensarse bajo la forma líquida en la parte superior del tubo, y el oxígeno se desprende en estado gaseoso atravesando el agua de la cuba. No se

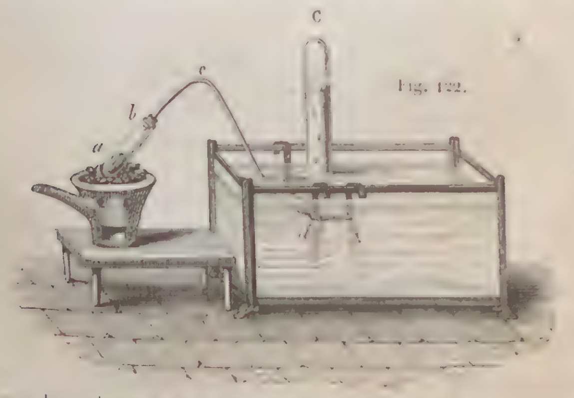


Fig. 122.

recogen las primeras porciones de gas, por hallarse mezcladas con el aire que llenaba primitivamente los tubos. Al cabo de algunos

minutos, este aire es desalojado por el gas oxígeno que se desprende incesantemente.

Para recoger este gas, se toma una campana de vidrio C, que se llena de agua hasta por encima de sus bordes, se aplica la palma de la mano sobre su abertura, y se la vuelve boca á bajo dentro del agua de la cuba. La campana queda así completamente llena de agua, aun despues de haber retirado la mano, por efecto de la presion atmosférica que se ejerce sobre el nivel del agua de la cuba. Se la coloca despues encima de la extremidad del tubo de desprendimiento, poniéndola sobre una pequeña plancha agujereada, que forma el *puente* de la cuba; ó bien sobre una cápsula de barro invertida (fig. 123), que tiene una abertura central *a* y otra lateral *u*, para dar paso al tubo *cd*, cuando la cuba de agua se reemplaza con un pequeño lebrillo ó cuenco, como en la figura 124.



Fig. 123.

Las burbujas de gas oxígeno, siendo específicamente mucho mas ligeras que el agua, se elevarán por en medio de este líquido, reuniéndose en la parte superior de la campana.

Cuando las cubas que sirven para recoger gases son bastante profundas, se llenan de agua las campanas con suma facilidad; y no hay mas que sumergirlas, vuelta hácia abajo su extremidad cerrada. El agua penetrará, desalojando el aire, y llenará completamente la campana, que se vuelve entónces boca á bajo, siempre dentro del agua, y se la coloca en seguida sobre el puente de la cuba. Este procedimiento es el mas cómodo, cuando se usan campanas de un gran diámetro.



Fig. 124.

§ 64. El óxido de mercurio es una sustancia demasiado cara, para que pueda emplearse cuando convenga obtener cantidades algo considerables de gas oxígeno; pero se encuentra en la naturaleza otro óxido, el peróxido de manganeso que, sometido á la accion de un fuego fuerte, se desprende de una porcion de su oxígeno, y se convierte en otro oxido de manganeso, menos rico en oxígeno que el peroxido. La descomposicion del peróxido de manganeso requiere

una temperatura mas elevada que la del óxido de mercurio: y por lo mismo no seria posible efectuarla en vasijas de vidrio, las cuales no resistirian al grado de calor que exige la operacion. Esta se dispone de la manera siguiente: el peróxido de manganeso, reducido á polvo, se introduce en una retorta de barro, que se coloca en un hornillo F (fig. 124), provisto de su *laboratorio* L, y cubierto en seguida con su *reverbero* R. Al cuello de la retorta se adapta, por medio de un tapon, el tubo abductor *tr*, cuya extremidad encorvada *r* se sumerge en la cuba de agua. Se ponen primero en el hornillo algunas ascuas, despues se le llena enteramente de carbon: y el fuego se propaga lentamente por entre la masa de combustible: condicion indispensable sin la cual se correria el riesgo de resquebrajar la retorta. La descomposicion del peróxido de manganeso no principia sino al calor rojo intenso, y conviene no recoger las primeras porciones de gas, por salir mezcladas con el aire atmosférico que llenaba la retorta. En cuanto cesa el desprendimiento de gas, queda terminada la descomposicion, aun cuando el fuego continúe siendo muy vivo en el hornillo.

100 partes en peso de peróxido de manganeso contienen

63,36 de manganeso,
36,64 de oxígeno.

En esta descomposicion, por la sola accion del calor, se desprenden 12,22 de oxígeno; y en la retorta quedan 87,78 de un óxido pardo de manganeso, que contiene 63,36 de manganeso, y 24,42 de oxígeno.

El peróxido de manganeso es una sustancia mineral que se encuentra en filones en los terrenos antiguos, y suele hallarse mezclada con algunas pequeñas porciones de la roca que forma las paredes del filon, encerrando casi siempre un poco de carbonato de cal (piedra caliza ó piedra de cal). Este carbonato de cal se convierte por la calcinacion en cal viva ó cal cáustica, y el gas ácido carbónico que se desprende se mezcla con el oxígeno, cuya pureza altera. Pero se priva fácilmente al oxígeno de este ácido carbónico, disolviendo en el agua de la cuba una corta cantidad de potasa cáustica, que absorbe dicho ácido. Puede tambien recogerse inme-

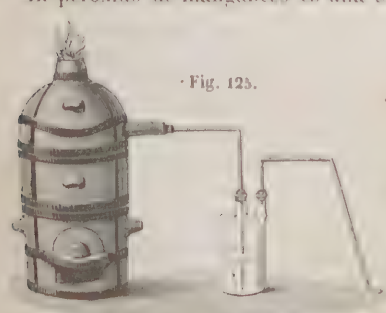


Fig. 125.

diatamente sobre la cuba el gas oxígeno, depurado ya de su ácido carbónico, haciendo que pase, al salir de la retorta de barro, por un frasco de dos bocas que contenga una disolucion de potasa cáustica. Este frasco se llama *frasco lavador*. El aparato se dispone en tal caso como manifiesta la figura 125.

§ 63. Cuando sea necesario recoger un gran volúmen de gas, no pueden ya servir las campanas de vidrio, y se emplean vasos particulares que se llaman *gasómetros*. La figura 126 representa uno de estos aparatos. Se compone de un vaso de cobre cilíndrico A, con una cubeta superior C, que descansa sobre cinco columnas de cobre: dos de ellas *a* y *b* son huecas, y están provistas de llaves. El tubo *a* desemboca inmediatamente debajo de la pared superior del vaso A, y el tubo *b* por el contrario baja hasta muy cerca del fondo. En *c* se encuentra un pequeño tubo ó surtidor con llave, y en *d* otro tubo corto mas ancho, que se encorva, y puede taparse herméticamente con un tapon *k*, ó de otro modo apropiado.

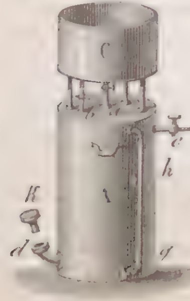


Fig. 126.

Se empieza por llenar de agua el aparato; y al efecto, hallándose cerrada la llave *c*, y tapado el orificio *d*, se abren las llaves *a* y *b*, y se vierte agua en la cubeta C. El agua cae en el vaso A por el tubo *b*, el aire del vaso se escapa por el *a*; y se va echando agua en la cubeta C, para reemplazar la que pasa al vaso A, continuando así hasta que este se halle enteramente lleno. Entónces se cierran las dos llaves *a* y *b*.

Para llenar el gasómetro de gas oxígeno, se destapa la boca *d*: el agua no puede salir, porque se opone la presion de la atmósfera. Se introduce por esta boca el tubo de desprendimiento, de modo que penetre en el interior del vaso. El gas que se desprende va pasando á la parte superior del vaso A, y el agua desalojada se derrama por el orificio *d*.

El gasómetro ha de hallarse colocado de manera que esta agua pueda derramarse naturalmente, ó ir á parar á una vasija dispuesta en la parte inferior.

El tubo de vidrio *gh*, que establece la comunicacion entre la parte superior y la inferior del cilindro A, sirve como indicador del nivel del agua en el vaso A, y permite apreciar la cantidad de gas que ha entrado en el aparato. Cuando ya queda muy poca agua en el cilindro, se quita el tubo de desprendimiento, y se cierra el

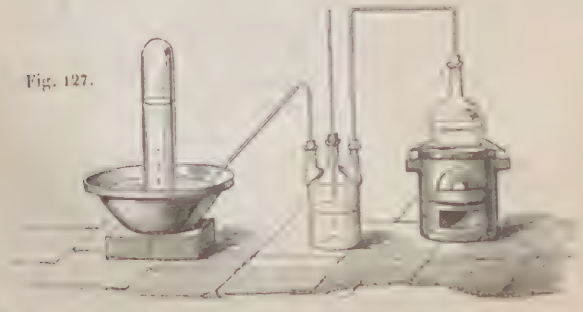
orificio *d*. El gas puede despues conservarse en el gasómetro todo el tiempo que se quiera.

Si se abre solamente la llave *b*, va entrando una porcion del agua que contiene la cubeta superior, hasta que el gas, comprimido en un menor espacio, haya adquirido una fuerza elástica igual á la presion de la atmósfera, que se ejerce sobre el nivel del agua de esta cubeta, aumentada con la presion que produce la columna líquida, comprendida entre el nivel del agua en la cubeta y el respectivo en el vaso A.

Cuando convenga tener una campana llena de gas oxígeno, bastará llenarla de agua, invertirla sobre la cubeta C, y poner su abertura encima del tubo *a*. Abriendo ahora á un mismo tiempo las llaves *a* y *b*, el gas se escapará en forma de burbujas por el tubo *a*, y pasará á la campana, reemplazándole en el cilindro A el agua que entra por el tubo *b*.

§ 66. Hemos visto que el peróxido de manganeso pierde por la calcinacion una parte de su oxígeno. El mismo cuerpo suelta una porcion mayor de este gas, cuando se le calienta con ácido sulfúrico concentrado, que es uno de los ácidos mas enérgicos que conocemos. El peróxido de manganeso se porta como un cuerpo indiferente con los ácidos; pero existe otro óxido de manganeso, el protóxido, compuesto de 77,57 de manganeso y 22,43 de oxígeno, que es una base poderosa, y tiene una grande afinidad con el ácido sulfúrico. En consecuencia de esta misma afinidad, si se calienta el peróxido de manganeso, reducido á polvo, con ácido sulfúrico concentrado, el peróxido pierde la mitad de su oxígeno y pasa al estado de protóxido, el cual se combina con el ácido sulfúrico para formar sulfato de protóxido de manganeso.

Fig. 127.



El aparato que se emplea para este experimento se compone de un matraz de vidrio (fig. 127), en el cual se introduce el peróxido

de manganeso en polvo, y el ácido sulfúrico concentrado. Se adapta al cuello del matraz, por medio de un tapon de corcho, un tubo abductor que conduzca el gas debajo de una campana colocada sobre la cuba de agua, ó dispuesta como se ve en la figura. Basta calentar el matraz con algunas ascuas, ó bien por medio de una lámpara de alcohol. Cuando quiera obtenerse gas oxígeno muy puro, será menester recordar que el peróxido de manganeso natural contiene casi siempre un poco de carbonato de cal, el cual en contacto del ácido sulfúrico se convierte en sulfato de cal, que queda en la retorta, y en ácido carbónico, que se desprende en estado gaseoso, y se mezcla con el gas oxígeno. Para depurar fácilmente este último gas, bastará hacerle pasar por un frasco lavador que contenga una disolucion de potasa, la cual absorberá el ácido carbónico, segun queda dicho. El aparato se dispone en este caso como manifiesta la figura 127.

§ 67. Se emplea aun en los laboratorios, para proporcionarse gas oxígeno puro y en gran cantidad, un procedimiento diferente de los que hemos indicado, y recomendable por su fácil ejecucion. Se encuentra en el comercio una sal, el clorato de potasa, compuesta de ácido clórico y de protóxido de potasio ó potasa. El ácido clórico es un compuesto de cloro y de oxígeno. Esta sal es poco estable, y se descompone fácilmente por el calor: todo el oxígeno que contiene se desprende, y queda por residuo un compuesto de cloro y de potasio, el cloruro de potasio.

100 partes de clorato de potasa encierran

61,51 ácido clórico........	28,88	cloro.
	32,63	oxígeno.
38,49 protóxido de potasio..	6,53	oxígeno.
	31,96	potasio.

Así se desprenden 39,16 de oxígeno, y quedan

28,88 cloro..............	60,84 cloruro de potasio.
31,96 potasio............	

La formula que damos al clorato de potasa es $KO.ClO^5$, la del cloruro de potasio es KCl; y podremos segun esto representar la descomposicion que se verifica en el experimento actual por medio de la equivalencia:

$$KO.ClO^5 = KCl + O^5 + O$$

ó, como se hace mas de ordinario:

$$KO.ClO^5 = KCl + 6O.$$

Cuando conviene obtener solamente una corta cantidad de oxí-

geno, se pone el clorato de potasa en una pequeña retorta de vidrio (fig. 128), que se calienta con carbon, ó por medio de una lámpara

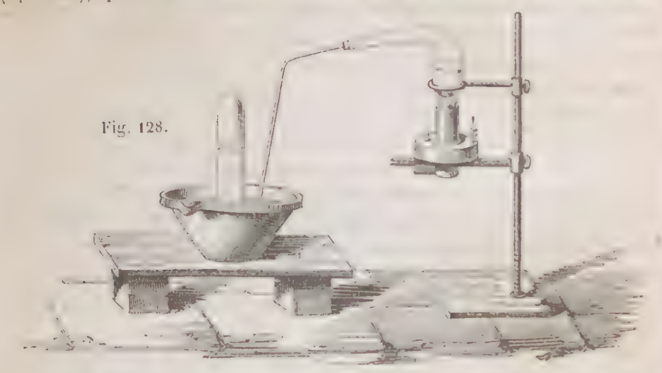


Fig. 128.

de alcohol. El clorato de potasa se funde desde luego, no tardando en desprenderse burbujas que anuncian su descomposicion; y al paso que esta adelanta, la materia pierde su fluidez, se vuelve mas y mas pastosa; y, para que el desprendimiento de gas oxígeno continúe, es menester aumentar sucesivamente la temperatura. Hácia lo último de la operacion, son necesarias algunas precauciones á fin de que el fondo de la retorta, que se halla principalmente expuesto á la accion del calor, no llegue á adquirir la temperatura á que el vidrio se ablanda; lo cual podria suceder tanto mas fácilmente, cuanto que la materia pastosa, hinchándose y levantando espuma, se despega del fondo, y lo deja enteramente expuesto á la accion del fuego. Sin tales precauciones dicho fondo se abollaria, formándose agujeros, que darian entrada al aire y malograrian por consiguiente toda la operacion.

El clorato de potasa, si su precio no es muy subido, puede servir muy bien para preparar el oxígeno, aun cuando sea necesaria una gran cantidad de este gas. Convendrá en este caso mezclarlo con su peso próximamente de peróxido de manganeso, ó mejor de óxido de cobre, pues su descomposicion es entónces mucho mas fácil. Es bueno ademas hacer uso de retortas de vidrio poco fusible, ó bien cubrirlas, si son de vidrio comun, con un lodo arcilloso*, que les da mas resistencia contra la accion del calor.

* Este lodo está formado de 1 parte de arcilla de alfarero desleida en un poco de agua, y de 2 ó 3 partes de arena. Suele incorporarse á esta mezcla un poco de heno desmenuzado ó de excremento de caballo, que produce un lodo mas fácil de aplicar sobre el vidrio.

§ 68. Despues de haber descrito circunstanciadamente los procedimientos que se emplean para obtener el gas oxígeno, vamos á indicar sus principales propiedades.

El gas oxígeno no se distingue por su aspecto del aire atmosférico. Su densidad es mayor que la de este flúido, y hallándose la del aire representada por 1,00000, la densidad del oxígeno es de 1,10563. Un litro de aire atmosférico á la temperatura de 0°, y bajo una presion equivalente á la de una columna de mercurio de 76 centímetros, pesa 1^{gr},2932. Un litro de gas oxígeno pesa, en las mismas circunstancias, 1^{gr},4298.

Como los gases se dilatan considerablemente por un ligero aumento de temperatura, ó por una corta diminucion de presion, es de todo punto indispensable, cuando quiera tenerse la relacion entre las densidades de dos gases, el tomar la de los pesos correspondientes á volúmenes iguales de estos dos gases, referidos á la misma temperatura y á la misma presion. Se ha convenido en considerar siempre los gases, tales como se encuentran á la temperatura de 0°, es decir, á la temperatura del hielo en fusion, y con la fuerza elástica que mediria la presion de una columna de mercurio de 76 centímetros de altura. Esto es lo que en adelante llamaremos *circunstancias normales de temperatura y de presion*.

Si todos los gases presentasen variaciones idénticas de volúmen por cambios iguales de temperatura y de presion, es claro que las relaciones entre los pesos de volúmenes iguales de estos gases, á temperaturas y á presiones iguales, serian constantemente las mismas, cualesquiera que fuesen los valores absolutos de estas temperaturas y presiones. Podríamos segun esto llamar *densidad de un gas*, á la relacion entre el peso de un cierto volúmen de este gas, y el peso del mismo volúmen de aire atmosférico, tomados ambos volúmenes á la misma temperatura y bajo la misma presion, siendo estas por otra parte cualesquiera. Mas la experiencia ha demostrado que esta identidad de variacion no existe rigurosamente para ningun gas. Es muy aproximada para algunos, por ejemplo, para el oxígeno, el hidrógeno, el azoe....; para otros, dista mucho de ser exacta, y no puede admitirse aproximadamente, sino cuando se encuentren á temperaturas mucho mas elevadas que la atmosférica. Será necesario, pues, indicar para estos últimos gases las temperaturas y las presiones bajo las cuales se han comparado sus pesos con el de un volúmen igual de aire atmosférico.

El gas oxígeno es muy poco soluble en el agua. Este líquido disuelve cerca de $\frac{46}{1000}$ de su volumen á la temperatura ordinaria: ó en otros términos, 1 litro de agua disuelve 46 centímetros cúbicos

de gas oxígeno, ó 1 kilógramo de agua disuelve 64 milígr.,4 de oxígeno.

§ 69. Una cerilla encendida continúa ardiendo en el aire atmosférico. Si se la apaga de un soplo, la parte carbonosa queda en ignicion durante algunos instantes, pero la llama no se reproduce espontáneamente. Si se sumerge la cerilla, cuando conserva todavía algunos puntos en ignicion, en una campana llena de gas oxígeno, se inflama instantáneamente y arde con una gran vivacidad. Esta propiedad del gas oxígeno es característica, y se la emplea continuamente para reconocer este gas en los laboratorios. Hemos de ver sin embargo que existe otro gas, el protóxido de azoe, que posee tambien dicha propiedad.

La combustion de los cuerpos es mucho mas viva en una atmósfera de oxígeno que en el aire. Así un carbon encendido, ó que solo presente algunos puntos en ignicion, se apaga prontamente cuando se le deja aislado en el aire; mas si se coloca este mismo carbon en una pequeña cápsula de porcelana, fija á la extremidad de un alambre de hierro que atraviese un tapon de corcho, segun se ve en la figura 129; y se introduce despues la cápsula con el carbon encendido en un frasco, de boca ancha y de unos dos ó tres litros de cabida, lleno de gas oxígeno, la combustion del carbon adquiere una intensidad extrema, produce una luz muy viva, y este cuerpo se consume rápidamente.

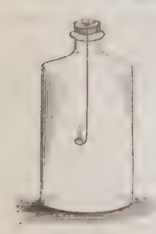


Fig. 129.

La combustion del azufre y del fósforo es tambien mucho mas viva en el oxígeno que en el aire; y, para probarlo, no hay mas que reemplazar en el caso anterior el fragmento de carbon por un pedacito de azufre ó de fósforo, é inflamarlo en el momento mismo de introducirlo en el frasco lleno de oxígeno. El fósforo produce en esta combustion una luz tan viva, que la vista puede apénas soportar.

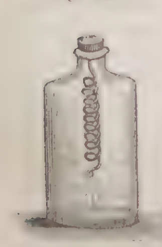


Fig. 130.

Un alambre de hierro enrojecido por el fuego pierde pronto en el aire su elevada temperatura; pero sumergido que sea en un frasco lleno de oxígeno, arde vivamente arrojando chispas, y dando un resplandor extraordinario. El experimento se dispone del modo siguiente: se llena de gas oxígeno, sobre la cuba de agua, un frasco de boca ancha y de dos ó tres litros de capacidad. En vez de alambre de hierro se toma una pequeña lámina de acero, delgada (como las que sirven para re-

sortes de reloj), que tiene la ventaja sobre el alambre de hierro de presentar mayor superficie. Se recuece esta lámina; y despues de haberla limpiado y frotado con un papel de esmeril, se la dobla en espiral, y se fija por un extremo á un tapon de corcho que pueda cubrir la abertura del frasco (fig. 130). A la punta inferior de la pequeña lámina se sujeta un pedacito de yesca, que se enciende en el momento de introducirla en el frasco. La combustion de la yesca se aviva sobre manera en el oxígeno, y se propaga á la lámina de acero, que arde sucesivamente hasta la extremidad próxima al tapon, despidiendo un brillo deslumbrador, y arrojando glóbulos fundidos de óxido de hierro. Conviene dejar en el fondo del frasco una capa de agua, á fin de evitar que los globulos de hierro candente caigan desde luego sobre el fondo mismo del frasco, pues lo romperian indefectiblemente sin esta precaucion.

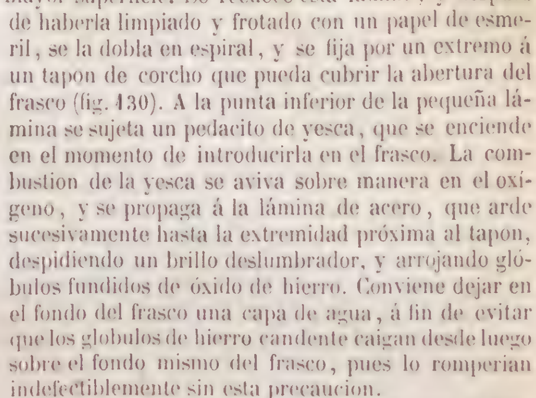


Fig. 131.

Estos experimentos demuestran que la combustion es mucho mas viva en el oxígeno que en el aire atmosférico. Veremos pronto, al tratar del azoe, que la combustion no se produce ni se alimenta en el aire atmosférico, sino en virtud del gas oxígeno que él contiene: diremos, pues, que el oxígeno sirve de pábulo y es el verdadero agente en la combustion ordinaria, *el agente comburente.*

§ 70. La combustion de los cuerpos en el oxígeno puro produce tambien una temperatura sumamente elevada en el punto mismo donde aquella se efectúa. Así, por ejemplo, con una lámpara de alcohol, que arda libremente en el aire, no se obtiene una temperatura bastante elevada para fundir un hilo de platino. La combustion adquiere mas actividad, cuando se proyecta hácia el medio de la llama una corriente rápida de aire, que produce una combustion mas completa en un espacio mas reducido. Se emplea para esto un aparato que se llama *soplete* (fig. 131), que consiste esencialmente en un tubo encorvado en ángulo recto, y cónico en su interior. La pequeña abertura *b* se sitúa en la llama, y el experimentador sopla por la abertura mas ancha *a*. El aire que proyecta hácia el interior del soplete, no debe haber pasado por el pulmon, pues de lo con-

d c b a f g h

Fig. 132.

trario saldria muy viciado, y no activaria suficientemente la combustion. Por medio de un ejercicio muy sencillo, que se adquiere fácilmente con un poco de práctica, se aspira el aire por la nariz, y se le proyecta al instante en el soplete por el juego de los músculos de la boca. Puede mantenerse así, con un poco de hábito, una corriente continua de aire durante diez minutos. El soplete se compone ordinariamente de muchas piezas que pueden ajustarse unas á otras. Un tubo cónico *ab* (fig. 132), cuyo extremo *a*, en forma de boquilla, se mete en la boca, ó se aplica solamente contra los labios. La extremidad *b*, mas estrecha, encaja en un depósito cilíndrico *cd*, que sirve á la vez como depósito de aire y para retener la humedad enviada por el soplo. Este cilindro suele tener en su fondo *d* un pequeño agujero, cerrado con un tapon, para hacer salir el agua despues que se ha usado el instrumento, y por uno de sus lados se ajusta una pieza adicional, en la cual encaja á rozamiento el pequeño tubo de salida. Al extremo de este se adaptan, segun convenga, otros pequeños tubos de platino *h*, que rematan en punta, y cuya abertura es mas ó menos fina, segun la corriente de aire que se quiera producir.



Fig. 133.

Cuando se alimenta una lámpara de alcohol por la corriente de aire proyectada con un soplete (fig. 133), se obtiene una temperatura bastante elevada, en la extremidad del dardo luminoso, para fundir un hilo de platino de muy corto diámetro; pero si se reemplaza la corriente de aire por otra de gas oxígeno, se produce una temperatura mucho mas elevada todavía, y capaz de fundir un hilo de platino de $\frac{1}{5}$ milímetro de diámetro. El experimento se ejecuta muy fácilmente, valiéndose del gasómetro descrito (§ 65). El tubo lateral *c* provisto de una llave se destina para este uso, adaptando á su extremidad una punta adicional de un agujero muy estrecho, que se sitúa en el interior de la llama de la lámpara de alcohol.

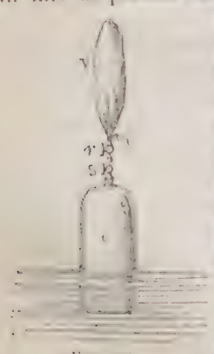


Fig. 134.

Cuando no puede disponerse de un gasómetro, se hace el experimento con una vejiga llena de gas oxígeno. Para el efecto, se moja con agua la vejiga á fin de hacerla mas flexible, y se la sujeta por medio de una atadura á la pequeña pieza metálica *r* (fig. 134), que tiene su llave. Para llenarla de gas oxígeno se la aprieta y com-

prime á fin de expeler el aire; despues se fija la pieza *r* sobre un tubo con rosca al exterior, en que remata la guarnicion metálica de una campana de vidrio C, colocada sobre la cuba de agua, y llena preventivamente de gaz oxígeno. Se abren las llaves *r* y *s*, y se sumerge poco á poco la campana en el agua de la cuba. El oxígeno contenido en la campana es necesariamente desalojado por el agua, y pasa á la vejiga. Si esta no queda bastante llena, se cierran de nuevo las llaves, se vuelve á llenar la campana de oxígeno, y se *trasvasa* esta nueva cantidad de gas á la vejiga. Se destornilla entónces la pieza *r*, se añade el tubo *t* (fig. 135), que se introduce en la llama, y se determina la corriente de oxígeno comprimiendo la vejiga debajo del brazo.

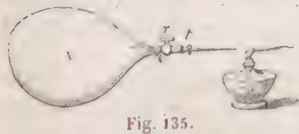


Fig. 135.

§ 71. El oxígeno es tambien el elemento esencial á la respiracion de los animales. Un animal muere al cabo de algunos instantes, cuando se le sumerge en un aire que haya sido privado de su oxígeno.

HIDRÓGENO.

Equivalente = 12,50.

§ 72. El hidrógeno* es un gas que, como lo recuerda su nombre (de ὕδωρ, agua; γεννάω, yo engendro), entra en la constitucion del agua.

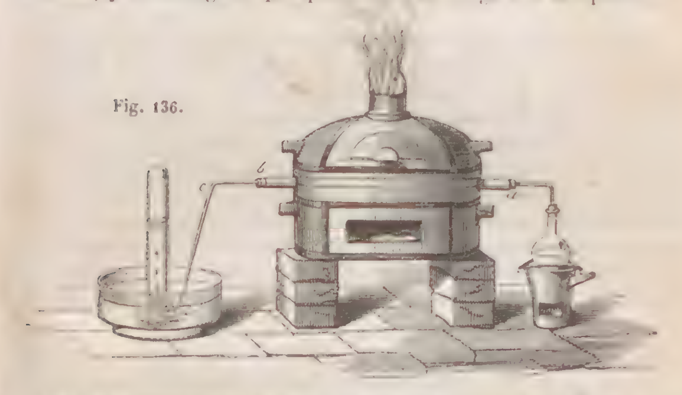
El agua es un compuesto de oxígeno y de hidrógeno, y sirve siempre en los laboratorios para producir este gas. Hemos obtenido el oxígeno, descomponiendo mediante la sola accion del calor, ya el óxido de mercurio, ya el peróxido de manganeso ó ya el clorato de potasa. Un procedimiento análogo no da igual resultado para el hidrógeno. La accion del calor por sí sola es insuficiente para descomponer el agua; pero puede separarse el hidrógeno del agua, tratando este líquido por sustancias que se apoderen de su oxígeno. Muchos metales producen esta descomposicion, y algunos, tales como el potasio y el sodio, la verifican aun en frio; otros, como el hierro y el zinc, requieren para ello una temperatura elevada.

Si en una campana llena de agua se introduce un fragmento de potasio ó de sodio, se ve que estos cuerpos pasan á la parte superior, en virtud de su débil densidad, y que se desprenden al mismo tiempo de su superficie una infinidad de pequeñas burbujas. Estas burbujas están formadas de gas hidrógeno, que va reuniéndose en la parte superior de la campana. El metal desaparece rápidamente, combinándose con el oxígeno del agua, y formando un óxido que se disuelve, y que se obtiene otra vez evaporando el agua de la campana en una cápsula. Para hacer cómodamente el experimento, se llena una campana de mercurio sobre la cuba de este líquido; y se hace pasar un poco de agua á su parte superior; se introduce despues el fragmento de potasio, envuelto en un poco de papel sin cola á fin de impedir su combinacion con el mercurio: el potasio se eleva rápidamente por entre este líquido, hasta ganar el nivel del agua en la campana.

§ 73. Para descomponer el agua por medio del hierro, se coloca un tubo de porcelana en un hornillo largo que se llama *hornillo de reverbero* (fig. 136). Se meten en el tubo alambres delgados de hierro, dispuestos en forma de pequeños ovillos, y se adapta á uno

* El gas hidrógeno fue obtenido hácia fines del siglo XVII; pero sus propiedades principales quedaron ignoradas hasta el año de 1766, en que Cavendish, célebre físico inglés, dió conocimiento de ellas.

de sus extremos *a*, por medio de un tapon y de un tubo encorvado, un pequeño matraz lleno de agua, y á la otra extremidad, un tubo *cd* propio para conducir el gas debajo de una campana colocada sobre la cuba de agua. Se calienta el tubo de porcelana lentamente, á fin de evitar que se rompa por un aumento demasiado rápido de temperatura; y se va activando de este modo el calor hasta enrojecer el tubo. Se hace hervir en seguida el agua contenida en el matraz. El vapor pasa por el hierro hecho ascua, el cual le quita su oxígeno, y el hidrógeno que queda libre se dirige á la campana.


Fig. 136.

§74. El hierro por sí solo no descompone el agua en frio; y es menester para ello calentarle hasta que se halle enrojecido. No sucede lo mismo cuando se vierte en el agua un ácido muy enérgico, como el ácido sulfúrico: la descomposicion del agua por el hierro se verifica en este caso á la temperatura ordinaria, y la causa que la produce es análoga á la que originaba, igualmente en frio, la descomposicion del peróxido de manganeso por el ácido sulfúrico concentrado (§ 66). La experiencia ha hecho ver que: *cuando muchos cuerpos están en presencia unos de otros, y pueden formarse, por el cambio recíproco de sus elementos, nuevos compuestos que tengan entre sí mucha afinidad, ó que gocen, en las circunstancias en que se producen, de una grande estabilidad, bien encontrándose aislados, bien en combinacion; estos nuevos compuestos se forman casi siempre.* Se ofrecerán ocasiones en lo sucesivo para citar numerosos ejemplos en apoyo de esta verdad. El experimento en cuestion nos presenta una circunstancia de esta clase. La primera combinacion del hierro con el oxígeno, el protoxido de hierro, es una base poderosa, que tiene mucha afinidad con el ácido sulfúrico. El hierro solo no puede des-

componer el agua en frio; mas en presencia del ácido sulfúrico, su afinidad con el oxígeno es avivada, por causa de la que tiene el ácido con el protóxido; el agua debe pues descomponerse, y el óxido de hierro que resulta se combina con el ácido sulfúrico para formar una sal, *el sulfato de protóxido de hierro.*

La fórmula que damos al ácido sulfúrico es SO^3, y la del agua es HO, segun pronto hemos de ver. La reaccion podrá expresarse por la equivalencia siguiente:

$$Fe + SO^3 + HO = FeO.SO^3 + H.$$

El procedimiento que se emplea en los laboratorios para preparar el gas hidrógeno, se funda en esta reaccion; si bien suele reemplazarse el hierro por el zinc. Se emplea este último metal bajo la forma de láminas, segun se le encuentra en el comercio, cortándolo solamente en cintas y despues en pequeños pedazos; ó mejor aun, se usa el zinc en granalla. Para obtenerlo bajo esta última forma, se funde en un crisol de tierra el zinc del comercio, y despues se vierte, en una vasija de barro llena de agua, el metal fundido, que se reduce al instante á una infinidad de pedazos irregulares, de una gran superficie. Se coloca el zinc en un frasco de dos bocas (fig. 137). A una de ellas se ajusta un tubo propio para conducir el gas debajo de una campana llena de agua; y á la otra se adapta un tubo recto que termina en embudo y se introduce hasta muy cerca del fondo del frasco. Se vierte primero agua por este tubo, de manera que se llene el frasco hasta la mitad poco mas ó menos, despues se echa por el mismo tubo, y en pequeñas porciones, ácido sulfúrico. La reaccion comienza tan luego como se establece el contacto del ácido con el zinc: la temperatura aumenta considerablemente, y el gas hidrógeno se desprende en abundancia. Cuando el desprendimiento del gas va siendo mas lento, se vierte por el embudo una nueva cantidad de ácido sulfúrico. El sulfato de protoxido de zinc formado queda disuelto en el líquido; y para obtenerlo, no hay mas que someter este á la evaporacion. Cuando un aparato ha servido para producir grandes cantidades de gas hidrogeno, suele suceder que, al enfriarse el líquido, precipita cantidades considerables de este sulfato cristalizado.



Fig. 137.

§ 75. El gas hidrógeno es incoloro, y tampoco despide olor cuando es perfectamente puro. El que se prepara por el procedimiento que acabamos de indicar tiene siempre un olor nauseabundo, desagra-

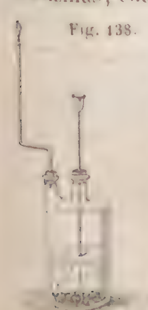
dable; pero este olor proviene de una muy corta cantidad de sustancias extrañas mezcladas con el gas, cuya purificacion daremos pronto á conocer.

El gas hidrógeno no ha podido liquidarse hasta el dia bajo ninguna presion, aun con la ayuda de las temperaturas mas bajas que podemos producir. Es el gas mas ligero que se conoce: su densidad es de 0,0692, hallándose la del aire representada por 1,0000. Un litro de gas pesa, en circunstancias normales de temperatura y de presion, $0^{gr},0896$. El gas hidrógeno es segun esto cerca de $14\frac{1}{2}$ veces mas ligero que el aire; y su empleo para los globos aerostáticos se funda en esta propiedad.

Un globo de binza de 2 ó 3 decímetros de diámetro, lleno de gas hidrógeno, puede elevarse en la atmósfera.

Un volúmen de 60 metros cúbicos de gas hidrógeno pesa $5^k,38$; y un volúmen igual de aire atmosférico pesa, en las mismas circunstancias; $77^k,59$; de donde resulta que, si la cubierta de tafetan engomado de un globo de 60 metros cúbicos de volúmen, con su navecilla y los objetos que ella contiene, no llega á pesar $72^k,21$, el globo se elevará en el aire.

Las ampollas de jabon infladas con gas hidrógeno se elevan en el aire, y se inflaman cuando se aproxima á ellas una cerilla encendida. Para formar estas ampollas, se llena de gas hidrógeno una vejiga con llave, y se ajusta á la guarnicion de esta vejiga un tubo de corto diámetro, cuya punta se sumerge en el agua de jabon, y se saca despues con una gota de líquido adherida. Si entónces se comprime suavemente la vejiga, despues de haber abierto la llave, se forman las ampollas de jabon, que se desprenden y se elevan por si mismas, cuando llegan á ser suficientemente grandes.


Fig. 138.

§ 76. El gas hidrógeno es eminentemente combustible, si bien la llama que produce, ardiendo en contacto del aire, es de escasa brillantez. Si se pone encima de esta llama un cuerpo frio, se ve sobre él depositarse agua, que es el producto de la combustion. Este experimento se practica, aproximando una cerilla encendida á la boca de una campana llena de gas hidrogeno, ó bien adaptando un tubo encorvado y adelgazado en su extremo á la abertura de un frasco del cual se desprenda hidrógeno (fig. 138). Se deja salir el gas durante algun tiempo, á fin de asegurarse que ya no queda sensiblemente mas aire atmosférico en el frasco; y despues se aproxima la cerilla encendida á la extremidad adelgazada del tubo: el gas hidrogeno

se enciende, y continúa ardiendo con una llama poco brillante. Este aparato se llama *lámpara filosófica.*

Una mezcla de hidrógeno y de aire es explosiva. La explosion mayor es la producida por una mezcla compuesta de 2 volúmenes de hidrógeno y 5 de aire. No ha de perderse de vista esta fácil explosion de una mezcla de hidrógeno y de aire atmosférico, cuando se hace el experimento de la lámpara filosófica. Si no se aguarda para inflamar el gas, á que el hidrógeno haya desalojado el aire del frasco, el fuego podria comunicarse al interior de este, inflamando la mezcla detonante, y produciendo una explosion, que haria estallar la vasija y ocasionaria probablemente accidentes graves.

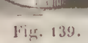


Fig. 139.

La explosion de una mezcla de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno es incomparablemente mas enérgica que la de una mezcla de hidrógeno y de aire atmosférico.

La llama de hidrógeno es poco brillante, pero produce mucho calor. Este calor adquiere una extrema intensidad, cuando se alimenta la combustion con gas oxígeno. Puede hacerse fácilmente el experimento por medio de un gasómetro (fig. 139), y basta situar el surtidor *e* en la llama de gas hidrógeno; la cual se reduce considerablemente, porque la combustion del gas se verifica en un espacio mas limitado. Se aumenta ó disminuye, segun se quiera, la corriente de oxígeno, abriendo mas ó menos la llave. Cuando la llama ocupa el menor espacio posible, la proporcion de oxígeno es la mas conveniente. La llama de gas hidrógeno, alimentada por el oxígeno, produce una temperatura superior á cuantas hasta el dia se han obtenido por la combustion; y determina la fusion de los cuerpos que, como la cal y otros, no han experimentado la menor alteracion á las temperaturas mas elevadas que han podido obtenerse en nuestros hornos.

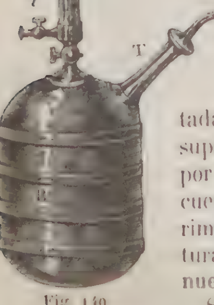


Fig. 140.

Se han imaginado diversos aparatos para producir esta combustion del hidrógeno por el oxígeno. Uno de ellos, el soplete de Newmann, consiste en un recipiente B, formado de

gruesas planchas de hierro batido (fig. 140), y reforzado con cinchos del mismo metal. Sobre su parte superior se arma una bomba impelente P, que sirve para introducir en el recipiente, bajo una fuerte presion, la mezcla explosiva (2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno). Para el efecto se empieza por hacer el vacío en el recipiente : operacion que puede ejecutarse por medio de la misma bomba, cambiando solamente el juego de las válvulas. Cuando se ha obtenido el vacío, se hace funcionar la bomba como bomba impelente, y se refluye y comprime la mezcla gaseosa en el recipiente. Este comunica con un soplete *s*, que tiene su llave y remata en una punta ó tubo adicional de abertura muy estrecha, á cuya extremidad se inflama la mezcla. A fin de impedir que el fuego se propague hasta el interior del recipiente, lo cual ocasionaria una explosion terrible, precede al soplete un tubo T de laton, de mayor diámetro, en el cual hay acumuladas una porcion de rodajas de telas metálicas, que sirven para enfriar los gases, y evitar por consiguiente que la combustion se comunique al interior. A pesar de esta precaucion, aparatos análogos al que acabamos de describir han estallado y causado muy graves daños.

Se prefiere actualmente conservar los gases separados, y no mezclarlos sino á una corta distancia del orificio del soplete : de esta manera puede precaverse todo riesgo de explosion. Para el objeto se usan dos gasómetros, el uno lleno de gas hidrógeno y el otro de gas oxígeno. Dos tubos *r* y *s*, adaptados á los orificios de salida de ambos gasómetros, conducen los dos gases á un solo tubo de laton L (fig. 141), que contiene una multitud de rodajas metálicas, adhéridas unas á otras, y al cual se adapta un surtidor para gas con su punta adicional de platino. Se abren las llaves *b* (fig. 139) de los dos gasómetros, de manera que éntre en el de gas hidrógeno doble volúmen de agua que en el de gas oxígeno. Esta disposicion de las llaves ha sido determinada de antemano, cuando los gasómetros estaban llenos de aire, y esto no presenta ninguna dificultad, si los tubos *gh* (fig. 126), indicadores del nivel de agua, se hallan divididos. Para encontrar con facilidad la abertura conveniente de las llaves, se ha fijado sobre cada una de ellas una aguja que siga el movimiento de la llave, y marque sus indicaciones sobre un pequeño cuadrante graduado. Cuando la posicion conveniente de la llave ha sido determinada una vez para todas, bastará, siempre que se quiera

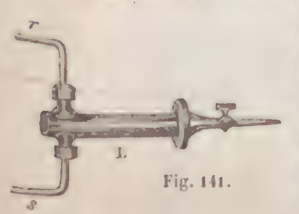


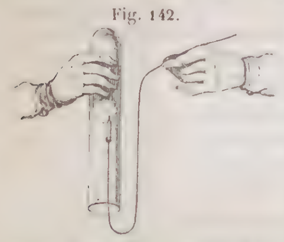
Fig. 141.

obtener una misma velocidad del líquido á su entrada en el recipiente, volver la llave de modo que la aguja corresponda á la misma division del cuadrante.

Si se dirige el dardo inflamado sobre un pequeño baston de creta, ó carbonato de cal, esta sustancia se encandece y produce una luz excesivamente viva, que ha recibido el nombre de *luz de Drummond*.

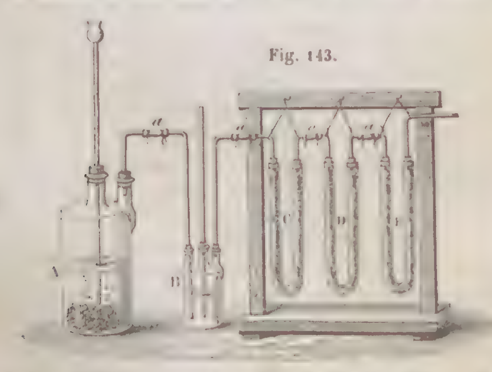
§ 77. El hidrógeno, siendo por sí mismo combustible, no puede alimentar la combustion de otros cuerpos combustibles. Para demostrarlo, se cierra por medio de una pequeña lámina de cristal la boca de una campana llena de gas hidrógeno, y colocada sobre la cuba de agua; se levanta la campana así tapada, manteniéndola derecha; se tiene dispuesta una cerilla fija á la extremidad de un alambre encorvado, como lo indica la figura 142; se destapa parcialmente la campana, retirando el cristal, y se introduce con rapidez la cerilla encendida hasta el medio de la campana: la cerilla se apaga inmediatamente.

Fig. 142.



§ 78. El zinc del comercio no se encuentra jamas absolutamente puro, pues contiene casi siempre una pequeña cantidad de carbono combinado, y algunas veces, ligeras señales de arsénico y azufre. Cuando se disuelve este zinc en el ácido sulfúrico diluido, una muy

Fig. 143.

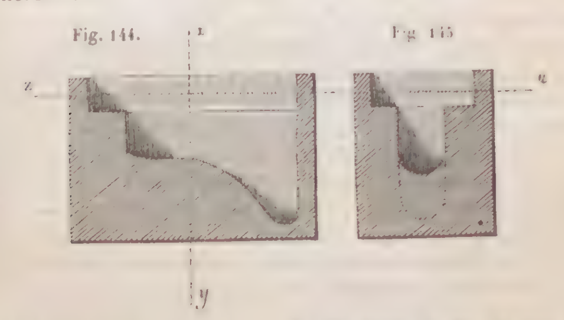


corta porcion del hidrógeno se combina con el carbono, y da origen á una materia oleosa, muy fétida, que comunica un olor desagradable á toda la masa de gas. El arsénico y el azufre se combinan tambien con una pequeña parte del hidrógeno. Pueden separarse completa-

mente del gas todas estas impurezas, y privársele de todo olor, dejándole en contacto durante algunos dias, primero con potasa cáustica, que absorbe la materia oleosa y la combinacion de azufre é hidrógeno, y despues con percloruro de mercurio, ó sublimado corrosivo, que se apodera de la combinacion de arsénico é hidrógeno. Para obtener fácilmente este resultado, se hace que pase el gas por dos largos tubos, encorvados en U (fig. 143), llenos de fragmentos de piedra pómez, que han sido humedecidos, los del tubo C, con una disolucion concentrada de potasa caústica, y los del tubo D, con una disolucion de percloruro de mercurio. El gas hidrogeno sale de este aparato, mezclado solamente con vapor acuoso.

Ocurre frecuentemente el tener que operar sobre gases secos; y no se les recoge entónces sobre el agua, sino sobre cubas de mercurio. Estas cubas son talladas ordinariamente en mármol ó en una piedra muy compacta, y las mas pequeñas son de porcelana ó de hierro colado. Se les da en su interior una forma tal que exijan la menor cantidad posible de mercurio, si bien presentan en ciertas partes la profundidad conveniente para la manipulacion. Las figuras 144 y 145 representan dos cortes verticales de una cuba de mercurio de mármol: la figura 144 da el corte longitudinal, y la figura 145 es un corte trasversal segun el plano *xy* de la figura 144. La línea *zu* marca el nivel del mercurio.

Fig. 144. Fig. 145



Las campanas en que se recogen los gases deben haberse desecado perfectamente. Para desecar una campana ó un frasco, se les calienta encima de algunas ascuas, volviéndolos en todos sentidos á fin de darles una temperatura uniforme, y se sopla continuamente hácia el interior con un fuelle ordinario, á cuya boca se ha adaptado un tubo de vidrio bastante largo para que su extremidad penetre hasta el fondo del vaso. Se llena la campana de mercurio y se la invierte sobre la cuba de mercurio, absolutamente como se ha dicho

(§ 63), cuando se manipulaba sobre la cuba de agua. Para desecar el gas recogido en la campana, se introduce un fragmento de una sustancia muy ávida de humedad, por ejemplo, un pedazo de cloruro de calcio fundido, y se le deja obrar durante algunas horas. Otras veces se deseca el gas ántes de recogerlo en la campana, y para esto se le hace atravesar, al salir del aparato que lo produce, por un largo tubo E (fig. 143) lleno de fragmentos de cloruro de calcio.

Empléase tambien para desecar completamente los gases el ácido sulfúrico concentrado, cuerpo sumamente ávido de humedad, y que no da vapor sensible á las temperaturas atmosféricas. El medio mas cómodo para usar este cuerpo desecante consiste en impregnar con él la piedra pómez, que despues se introduce en un tubo en U. Pero, como esta piedra suele contener, aunque en muy corta cantidad, algunos cloruros, y estos por el contacto del acido sulfúrico producirian ácido clorhídrico, que se mezclaria con el gas, es indispensable someterla á una operacion preliminar. Esta se reduce á humedecer la piedra pómez con un poco de ácido sulfúrico, despues de quebrantada en pequeños fragmentos, y á calcinarla en seguida en un crisol de barro. Los cloruros son enteramente descompuestos y trasformados en sulfatos.

§ 79. La inflamacion de la mezcla explosiva de hidrógeno y de oxígeno, ó del hidrógeno solo en contacto del aire, no es producida solamente por la aproximacion de una cerilla encendida ó por el paso de una chispa eléctrica. Esta inflamacion se verifica aun, en frio, por la presencia de ciertos cuerpos, principalmente del musgo de platino*. Si, en una probeta que contenga una mezcla de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno, se echa un pedazo de esponja de platino, la explosion de la mezcla se produce al momento. Proyectando, en contacto del aire, una corriente de gas hidrógeno sobre el musgo de platino, este se enciende, y el gas se inflama inmediatamente. La accion del musgo de platino en esta circunstancia no se ha explicado bien todavía; y se saca partido de ella para la construccion de las lámparas de gas hidrógeno.

COMBINACIONES DEL HIDRÓGENO CON EL OXÍGENO.

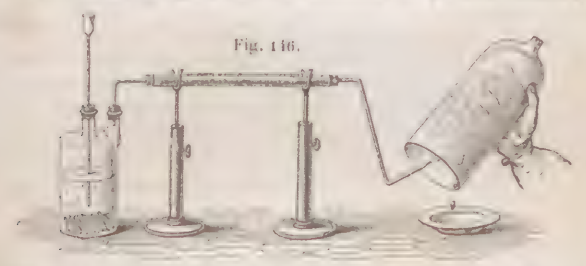
§ 80. Conocemos dos combinaciones del hidrógeno con el oxígeno. La primera, ó el protóxido, no es otra cosa que el agua**.

* Se da el nombre de *esponja ó musgo de platino* á la masa esponjosa de platino metálico que se obtiene descomponiendo por el calor ciertas combinaciones del platino.

** El agua fue considerada por los antiguos como uno de los cuatro elementos de

Protóxido de hidrógeno ó agua, HO.

§ 81. Hemos visto (§ 76) que el hidrógeno, ardiendo en el aire, producia agua; pero es necesario para que el experimento sea concluyente, que el gas hidrógeno haya sido completamente desecado ántes de quemarlo; pues sin esta precaucion podria admitirse que el agua precipitada sobre el cuerpo frio es acarreada por los gases húmedos, y proviene de la disolucion, cuya temperatura se eleva siempre de una manera notable durante la reaccion. Se dispone el aparato segun representa la figura 146. Se mantiene un poco inclinada sobre


Fig. 146.

la llama una campana abierta en su parte superior: el agua formada por la combustion se precipita en forma de rocío sobre sus paredes, y cae en pequeñas gotas, pudiendo ser recogida en cantidad tan considerable como se quiera.

§ 82. El agua pura no tiene sabor ni olor, y es incolora cuando ofrece á la vista masas de poco espesor; pero si este es considerable, presenta un matiz verdoso bastante marcado.

El agua líquida pasa al estado sólido por el enfriamento, y así se observa durante los rigores del invierno. Se ha tomado como cero para la graduacion del termómetro la temperatura á que se efectúa este cambio de estado. Si se trasporta á una pieza caliente un vaso lleno de nieve ó de hielo machacado, la masa no tarda en derretirse, y, desde que principia la licuacion, un termometro sumergido en el vaso marca una temperatura constante, interin subsistan en estado solido las mas pequeñas partes. Esta temperatura constante es la que ha servido para uno de los puntos fijos de la escala termo-

la naturaleza. Hasta fines del siglo XVIII no se echó de ver que el agua era un compuesto de hidrógeno y de oxígeno. Priestley observó el primero que, cuando el gas hidrógeno ardia en un vaso de vidrio á expensas del aire ó del gas oxígeno, se depositaba una cierta cantidad de agua sobre las paredes del vaso. Mas la composicion del agua no ha sido establecida de un modo incontestable hasta las investigaciones casi simultáneas de Watt, Cavendish y Lavoisier.

métrica. Con todo, el agua puede ser enfriada hasta una temperatura inferior á la de cero sin que tome el estado sólido; y esto es lo que sucede cuando se la conserva en un vaso, resguardada de toda agitacion, y se la enfria lentamente. Se ha observado en este caso que el agua puede, sin congelarse, disminuir de temperatura hasta — 12° (12° bajo cero); pero en cuanto se comunican al vaso que contiene el líquido algunos sacudimientos, ó mejor, se introduce en él un cuerpo extraño, se forman cristales de hielo, y la temperatura sube á 0°, permaneciendo en este punto hasta que toda la masa de agua se ha solidificado. Igual fenómeno se observa en la fusion de todos los cuerpos.

El paso del agua líquida al estado de hielo es pues una verdadera cristalizacion por via de fusion; pero es raro que esta cristalizacion dé lugar á cristales, cuyas formas puedan definirse: estos son agujas que se cruzan y entrelazan unas con otras produciendo masas trasparentes y continuas. Sin embargo se distinguen á veces formas cristalinas, definibles en los pequeños témpanos que se forman en el seno de las aguas cenagosas. Cuando la temperatura del aire es inferior á cero, el agua se separa de él bajo la forma de nieve ó de escarcha. Cada copo de nieve es la reunion de un sinnúmero de cristales que se han agrupado, y, por medio de una lente de bastante aumento, puede reconocerse que los cristales elementales son prismas regulares de seis caras, prolongados, que se agrupan en estrellas al rededor de un centro, formando siempre ángulos de 60° y de 120°. Los números 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 de la figura 147 representan algunos de los sistemas de grupos mas sencillos. La escarcha nos ofrece con frecuencia formas menos complicadas: se distinguen algunas laminillas exaédricas perfectamente regulares (nº 1). La forma cristalina del hielo pertenece pues al sistema romboédrico.

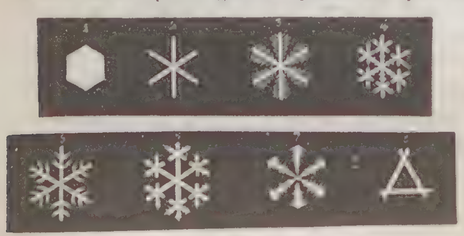


Fig. 147.

El agua aumenta en volúmen al congelarse, y así es que la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida. Los cuerpos líquidos y sólidos aumentan en volúmen, *ó se dilatan*, cuando se eleva su temperatura: el agua forma una excepcion de esta regla, en los primeros grados de nuestra escala termométrica. Entre 0° et 4° el agua en vez de dilatarse se contrae; y hácia los 4° presenta

un *mínimo* de volúmen, y por consecuencia un *máximo de densidad*. Desde 4° hasta las temperaturas mas elevadas á que ha sido observada, se dilata de una manera continua. Se ha convenido en tomar por unidad la densidad que el agua presenta á la temperatura de 4°, y se refiere á esta densidad la de los otros cuerpos sólidos y líquidos. La densidad del hielo se halla segun esto representada por 0,94. La fuerza con que el agua se dilata al congelarse es irresistible, hace reventar las granadas y bombas, aun las de un espesor considerable; y piedras muy resistentes, aunque porosas, se abren con frecuencia durante el invierno, cuando se congela el agua contenida en sus poros.

§ 83. El agua pasa fácilmente al estado gaseoso; y la temperatura á que se verifica este cambio depende de la presion del aire. Se ha tomado por segundo punto fijo del termómetro, que marca 100 en la division centígrada (adoptada para nuestras indicaciones), la temperatura á que el agua hierve bajo la presion de 760 milímetros de mercurio. La temperatura de la ebullicion de un líquido disminuye con la presion, y así es que el agua hierve debajo del hielo en el vacío de la máquina neumática.

El agua se encuentra en el estado aeriforme, cuando la temperatura es superior á 100°, y la presion menor que $0^{m},760$. Veremos mas adelante cómo se puede determinar experimentalmente el peso de un cierto volúmen de este vapor, y compararlo con el de un volúmen igual de aire atmosférico, tomado á la misma temperatura y bajo la misma presion: llamaremos á esta relacion *densidad del vapor de agua*. Si determinamos su valor numérico para temperaturas superiores á 100°, y progresivamente crecientes, observaremos que, á contar de los 130° cerca, esta relacion es sensiblemente constante para todas las temperaturas superiores, y está representada por la fraccion 0,622. Este valor es el que admitiremos para la densidad del vapor de agua, y del mismo modo definiremos en lo sucesivo las densidades de los demas vapores.

El agua emite en el aire vapores muy sensibles; y la formacion de estos vapores es tanto mas abundante, cuanto menos agua en disolucion encierre el aire, esté menos *saturado* de vapor acuoso, y su temperatura sea mas elevada. Se dice entónces que el agua se *evapora* al aire.

El aire contiene siempre una cierta cantidad de vapor de agua: y está muy cerca de su *punto de saturacion* en los tiempos de lluvia y durante el invierno; se halla por el contrario muy distante de este punto en los calores fuertes del verano. Ciertas sustancias poseen la propiedad de absorber el agua contenida en el aire, aun

cuando no se halle saturado, y de disolverse en esta agua, recibiendo el nombre de *sustancias delicuescentes;* tales son : el cloruro de calcio, la potasa, etc., etc. Otras, por la inversa, expuestas al aire no saturado de humedad, se desprenden fácilmente de una parte del agua que contienen, y se reducen á polvo : se las llama *sustancias eflorescentes*. El sulfato de sosa es una de ellas. Es claro que ningun cuerpo podrá ser eflorescente en el aire saturado de humedad, y que por el contrario todos los cuerpos solubles serán delicuescentes en el mismo aire saturado.

Suele suceder sin embargo que los cuerpos *entran en eflorescencia* absorbiendo la humedad del aire. Esta circunstancia se presenta en los cuerpos cristalizados ó fundidos que tienen afinidad con el agua, y forman con este líquido combinaciones no delicuescentes. El sulfato de sosa fundido, expuesto al aire húmedo, absorbe agua y se convierte en polvo.

§ 84. El agua aun la mas trasparente y limpia de los rios y de las fuentes no se encuentra jamas pura; y este hecho se comprueba

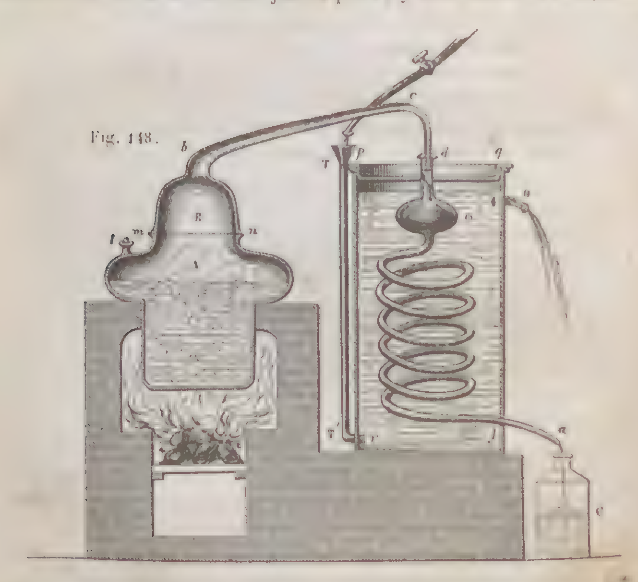


Fig. 148.

fácilmente, pues no hay mas que evaporar en una cápsula una corta porcion de estas aguas, para ver que dejan siempre un residuo sensible. El agua de lluvia es casi pura, pero cayendo ordinariamente se-

bre los tejados ántes de ser recogida, disuelve una pequeña cantidad de sustancias extrañas. Se purifica el agua sometiéndola á la destilacion; y, como en los laboratorios se emplea profusamente el agua destilada, esta operacion se ejecuta en grande, valiéndose de aparatos que se llaman *alambiques*. El alambique (fig. 148) se compone de una caldera de cobre A, montada sobre un horno de ladrillo, á la cual se adapta una tapadera B, en forma de cúpula ó capitel, terminada por un tubo encorvado *bcd*, que comunica con un serpentin contenido en una gran cuba cilíndrica *pqrj* de metal, que se mantiene llena de agua. La extremidad del serpentin desemboca en *a* fuera de la cuba. El orificio *t* sirve para echar en la caldera el agua que se quiera destilar. En la cuba, que sirve de refrigerante, el agua se calienta necesariamente por efecto de la condensacion de los vapores en el serpentin; es indispensable, pues, renovarla de cuando en cuando; y lo mejor para este caso es tener un depósito superior con agua fria, que corra lentamente por el tubo exterior TT′ hasta la parte inferior de la cuba. Por este medio el agua fria se encuentra siempre en la parte inferior, y el agua caliente se derrama por el orificio superior *o*. Puede graduarse de tal modo la entrada del agua fria, que la caliente salga por *o* con una temperatura muy próxima á 100°. Esta agua caliente sirve para alimentar la caldera del alambique, y se economiza así el combustible.

Hay necesidad muchas veces en los laboratorios de destilar líquidos muy volátiles, cuyo vapor exige un enfriamiento considerable para

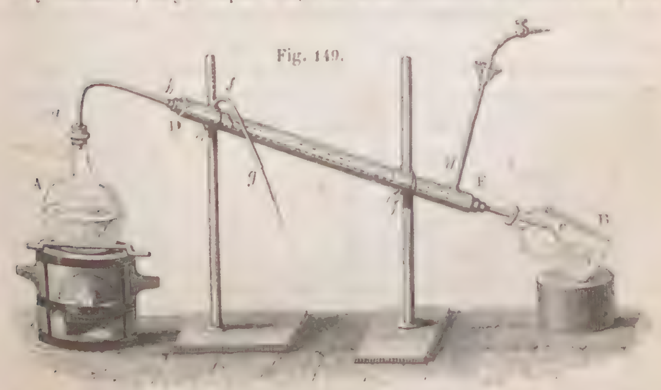


Fig. 149.

que no experimenten una pérdida notable. Se emplea en este caso uno de los aparatos (fig. 149 et 150).

En la figura 149, el recipiente A contiene el líquido que se va á

destilar. El tubo de vidrio *abc* hace las veces de serpentin del alambique; y se le mantiene dentro de un cilindro de hoja de lata por medio de tapones que deben cerrar herméticamente: la extremidad de este tubo penetra en un frasco que sirve de recipiente al líquido destilado. El cilindro lleva en *d* un tubo con embudo por el cual entra el agua fria, y en *f*, un tubo encorvado que da salida á la que se ha calentado.

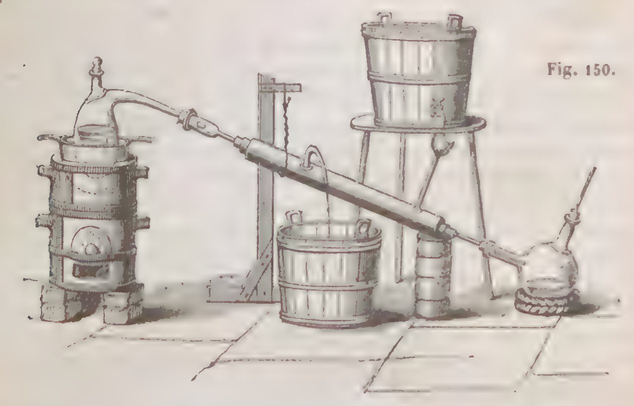


Fig. 150.

En la figura 150, el líquido que se quiere destilar se echa en una retorta cuyo cuello enchufa en un tubo mas ancho, soldado al refrigerante.

Los vasijas de vidrio en que se destilan líquidos están expuestas á romperse, por causa de la distribucion desigual del calor, cuando se las calienta con carbon colocado inmediatamente bajo de ellas, ó *á fuego desnudo*. Para evitar este riesgo se las calienta á menudo en un *baño de arena*, contenido en una caldera metálica, como manifiesta la figura 150.

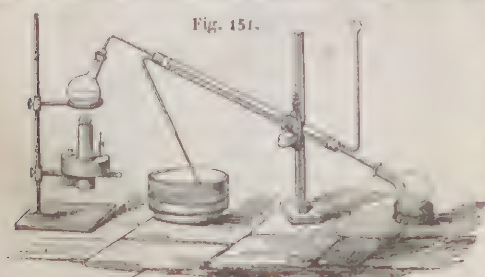


Fig. 151.

Cuando solo convenga destilar porciones muy cortas de líquido, puede construirse un aparato de esta especie valiéndose solamente de tubos de vidrio

y tapones de corcho. Se le da entónces la disposicion representada en la figura 151.

§ 85. El agua disuelve un gran número de sustancias sólidas y líquidas; y en general, estas se disuelven en proporciones tanto mas considerables cuanto mas elevada es la temperatura; por manera que, si se hace una disolucion de estas sustancias saturada en caliente, y se la abandona despues al enfriamiento, una parte de la sustancia cristaliza. Para obtener el resto de la sustancia disuelta, es menester evaporar el agua que la mantiene en disolucion. Con este objeto se pone el líquido en una cápsula de porcelana, y se le calienta en un hornillo, ó mejor con una lámpara de alcohol. Esta operacion exige ciertas precauciones, cuando no se quiera perder nada de la materia disuelta, como es necesario en los análisis químicos. No debe en tal caso calentarse el líquido hasta la ebullicion, porque las burbujas de vapor que se forman sobre el fondo de la cápsula vienen á rebentar en la superficie, y proyectan infaliblemente fuera del vaso pequeñas porciones de la disolucion. Se hace frecuentemente la evaporacion de los líquidos al *baño-maría* (fig. 152); esto es, poniendo la cápsula de porcelana, que contiene la disolucion, dentro de otra cápsula de cobre llena en parte de agua, que se calienta con una lámpara de alcohol. Otras veces no se pone agua en la cápsula de cobre, y la de porcelana se encuentra entonces en un baño de aire caliente, que produce una evaporacion muy regular. Por último, cuando hay que evaporar en los laboratorios muchas disoluciones, se colocan todas las cápsulas sobre un mismo baño de arena calentado con leña.


Fig. 152.


Fig. 153.

Es menester á veces conducir muy lentamente una evaporacion, y practicarla á una temperatura baja. Se dispone en este caso la cápsula de la disolucion que se ha de evaporar, sobre otra cápsula

ancha de vidrio, que contenga ácido sulfúrico concentrado, y se cubre el todo con una campana de vidrio (fig. 153). El ácido sulfúrico absorbe la humedad del aire conforme este la quita á la disolucion. La evaporacion marcha con mas rapidez colocando las cápsulas debajo del recipiente de la máquina neumática, y haciendo el vacío.

§ 86. El agua tambien disuelve los gases: y la solubilidad de un mismo gas en el agua es tanto mayor cuanto mas baja es la temperatura, y la presion ejercida sobre el líquido por la porcion de gas no disuelto es mas considerable.

Cuando un cierto volúmen de agua se encuentra en una atmósfera limitada de un gas, el agua disuelve una porcion de este gas tal que, ocupando un volúmen igual al del líquido, posee una fuerza elástica expresada siempre por una fraccion constante $\frac{1}{m}$ de la presion que el gas no disuelto ejerce sobre la disolucion. Esta fraccion es en un todo independiente del valor absoluto de la presion; y supondremos que sea $\frac{1}{n}$ para el azoe, y $\frac{1}{n'}$ para el oxígeno. Así, cuando una cantidad determinada de agua, 1 litro por ejemplo, se encuentre en una atmósfera ilimitada de gas oxígeno, disuelve una porcion de este gas tal que, ocupando el volúmen de 1 litro, tendrá la densidad que le convendria bajo la presion de $\frac{1}{n'} h$, representando h la presion que ejerce sobre el líquido el gas oxígeno no disuelto. Si en uno segundo experimento la presion del gas no disuelto es $\frac{h}{5}$, el litro de gas oxígeno disuelto tendrá la densidad que le corresponderia bajo la presion $\frac{1}{n'} . \frac{h}{5}$. Su peso absoluto será por consiguiente 5 veces menor en este segundo caso que en el primero.

Cuando se pone el agua en presencia de una atmósfera formada por la mezcla de dos ó mas gases, disuelve de cada uno de ellos una cantidad precisamente igual á la que disolveria si se hallase en contacto de una atmósfera de este gas solo, cuya fuerza elástica fuera igual á la fraccion de la presion total que le corresponde en la mezcla gaseosa.

Así el agua, en contacto del aire, disuelve una cantidad de gas azoe igual á la que disolveria si se encontrase en una atmósfera formada solamente de este gas, que ejerciera una presion igual á $\frac{4}{5}$ de la atmosférica, es decir $\frac{1}{n} . \frac{4}{5}$, y una cantidad de oxígeno $\frac{1}{n'} . \frac{1}{5}$, igual á la que disolveria si estuviese en presencia de una atmósfera de oxígeno puro con una presion 5 veces menor que la atmosférica. De consiguiente 1 litro de agua disuelve, en contacto del aire, 1 litro de oxígeno con la densidad que le conviene bajo la

presion $\frac{1}{n'}\cdot\frac{1}{5}h$, y 1 litro de azoe con la densidad que le corresponde bajo la presion $\frac{1}{n}\cdot\frac{4}{5}h$. Si se quiere referir la fuerza elástica de estos gases á la presion ordinaria de la atmósfera, se recordará que los volúmenes de los gases están en razon inversa de las presiones que soportan. Por consecuencia 1 litro de agua, en contacto del aire, disuelve una fraccion de litro $\frac{1}{n'}\cdot\frac{1}{5}$ de oxígeno, y una fraccion de litro $\frac{1}{n}\cdot\frac{4}{5}$ de azoe, y un volúmen total de gas representado por $\frac{1}{n'}\cdot\frac{1}{5}+\frac{1}{n}\cdot\frac{4}{5}$.

Puede determinarse fácilmente el volúmen de gas disuelto, por medio del experimento que sigue: se llena enteramente de agua un matraz grande de vidrio (fig. 154); y se hace lo mismo con el tubo abductor, lo cual se logra fácilmente por aspiracion; se ajusta en seguida el tapon *a* al cuello del matraz: el agua desalojada sale por el tubo, y se obtiene así un aparato completamente lleno de agua. Se sitúa la extremidad del tubo encorvado debajo de una campana llena de mercurio, y colocada sobre la cuba de mercurio *, y despues se calienta el matraz.

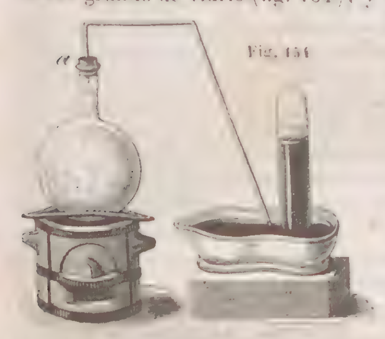


Fig. 154

Cuando la temperatura del agua se va acercando á 40° ó 50°, se ven una infinidad de pequeñas burbujas que se desprenden de las paredes del vaso. Se aumenta la temperatura del agua hasta la ebullicion, continuándola durante algunos minutos: el vapor hace pasar todo el aire desprendido á la campana colocada sobre el mercurio. Se mide el volumen de aire recogido, y se compara este volúmen con el del agua que le ha dado orígen.

§ 87. El agua se combina con un gran número de sustancias. Con los ácidos fuertes se porta como una base débil; y al contrario, como un ácido débil relativamente á las bases enérgicas.

El agua entra en combinacion con una multitud de sales, cuando estas cristalizan en sus disoluciones acuosas; y una misma sal se combina frecuentemente con proporciones de agua muy diferentes, segun la temperatura á que la cristalizacion se verifique.

§ 88. *Análisis del agua.*—Trátase ahora de determinar las propor-

* La cuba de mercurio representada en la figura 154 es una pequeña cuba de porcelana, que tiene un banco con una entalladura hecha en su centro, sobre el cual se coloca la campana.

ciones en que los gases oxígeno é hidrógeno se combinan para formar agua. Con este objeto se introducen en una misma campana, sobre el mercurio, volúmenes bien conocidos de gas hidrógeno y de gas oxígeno, y se inflama la mezcla. Los dos gases se combinan en proporciones determinadas, y forman agua, que se condensa sobre las paredes de la campana. Como el gas que se ha puesto en exceso no desaparece completamente, se mide la porcion restante, y se determinan en consecuencia los volúmenes respectivos de los dos gases que se han combinado.

Para hacer estos experimentos es menester proporcionarse campanas divididas en capacidades iguales, y destinadas para medir gases. Se encuentran en el comercio estas campanas divididas, pero es mejor que uno mismo las divida, para tener seguridad completa en su exactitud. Se procederá de la manera siguiente : se elige una campana de vidrio muy puro, de 1 á 2 centímetros de diámetro interior, y de 2 á 3 decímetros de longitud. Se coloca esta campana boca arriba en direccion perfectamente vertical. Se construye una pequeña medida A (fig. 155) con un tubo corto cerrado, cuyos bordes se esmerilan sobre una piedra arenisca bien plana, á fin de que su abertura quede cerrada exactamente por un pequeño plano de vidrio deslustrado B. Se llena esta medida de mercurio hasta que rebose el líquido, y se echa la parte excedente aplicando sobre la boca el plano de vidrio ú *obturador*. Se vierte el contenido de esta medida en la campana que se quiere dividir, y por medio de una varilla de vidrio, que se pasa sobre la superficie interior de la campana, se hacen desaparecer las burbujas de aire que quedan adheridas. Hecho esto, se marca con un pincel un trazo muy fino en el punto en que se detiene el nivel del mercurio, se vierte una segunda medida de este líquido en el tubo, se hace un nuevo trazo, y se continúa de este modo.

Fig. 155.

B

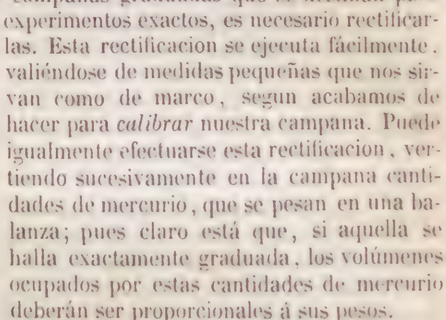
A

Es claro que los intérvalos entre dos trazos consecutivos corresponderán á capacidades iguales; y si la campana no es muy irregular, puede admitirse que conserva sensiblemente el mismo diámetro en cada uno de estos intérvalos, que pueden por otra parte hacerse tan pequeños como se quieran, eligiendo convenientemente la capacidad de la medida.

Determinada ya por esta medicion preliminar la cabida de la campana, se vierte el mercurio que contiene, y se la cubre de una capa delgada de barniz líquido ordinario de los grabadores en cobre. Este barniz se aplica con un pincel; se seca rápidamente, y conserva bastante trasparencia para dejar percibir distintamente los

trazos rojos marcados en la campana. Esta se dispone entónces sobre una máquina de dividir, y, por medio de un punzon de hierro, se trazan sobre la capa de barniz divisiones separadas de tal modo, que cada intérvalo entre dos trazos consecutivos de la medicion anterior contenga el mismo número de divisiones iguales. Se hace un trazo mas largo á cada cinco divisiones para facilitar la lectura, y se marcan los guarismos para cada decena con una aguja fija, por medio de un mastic ó betun á propósito, á la extremidad de un tubo de vidrio, ó bien con una pluma metálica; se pasa en fin sobre las divisiones un pincel mojado en una disolucion de ácido fluorhídrico. Este ácido tiene la propiedad de corroer y disolver el vidrio; ataca por consiguiente la superficie de la campana en todos los puntos en que se ha quitado el barniz, y deja descubiertas en hueco las divisiones trazadas sobre el vidrio.

Cuando se compran campanas graduadas que se destinan para experimentos exactos, es necesario rectificarlas. Esta rectificacion se ejecuta fácilmente, valiéndose de medidas pequeñas que nos sirvan como de marco, segun acabamos de hacer para *calibrar* nuestra campana. Puede igualmente efectuarse esta rectificacion, vertiendo sucesivamente en la campana cantidades de mercurio, que se pesan en una balanza; pues claro está que, si aquella se halla exactamente graduada, los volúmenes ocupados por estas cantidades de mercurio deberán ser proporcionales á sus pesos.


Fig 156.

Se pasa á la campana graduada un cierto volúmen de gas hidrógeno, que se mide con exactitud, teniendo cuidado de introducirla en la cuba de mercurio hasta que el nivel de este sea el mismo interior que exteriormente. Es mas cómodo tomar esta medida, como representa la figura 156, en una probeta de vidrio, cuyas paredes trasparentes permiten enrasar exactamente los niveles del mercurio, y leer las divisiones. Se trasvasa á la misma campana una cierta cantidad de gas oxígeno; y el aumento de volúmen de la mezcla gaseosa dará la medida de este último gas. Se introduce la mezcla en un aparato que se llama *eudiometro*, dispuesto de modo que pueda pasar por su interior una chispa eléc-

trica. El eudiómetro (fig. 157) se compone de una campana de vidrio de paredes muy gruesas, guarnecida superiormente con una armadura de hierro *a*, que atraviesa la pared del tubo, y se ajusta por medio de un betun á propósito, de manera que cierre herméticamente. Cerca de esta extremidad, en *b*, se ha abierto un pequeño taladro, por el cual se introduce, fijándolo tambien con un mastic ó betun, un alambre grueso de hierro, cuyo extremo interior redondeado viene á quedar á muy corta distancia de la armadura superior, y el otro extremo remata en gancho al exterior. Lleno el eudiómetro de mercurio, se le pone boca abajo sobre esta cuba, y se pasa á su interior la mezcla de los dos gases. Se frota bien la superficie de la campana con un lienzo ó paño caliente, y se aproxima despues á la guarnicion metálica *a* el platillo cargado de un electróforo, tocando al mismo tiempo con la otra mano el alambre de hierro *b*: la chispa eléctrica salta entónces entre *c* y *d*, pasando por la mezcla detonante, y determina su inflamacion. La varilla metálica *b* puede comunicar con el suelo por el intermedio de una cadenilla de hierro, que se cuelga del gancho *b*, y se deja caer sobre el mercurio de la cuba.

Fig. 157.



En el momento de la combustion hay desprendimiento de una gran cantidad de calor, el cual dilata considerablemente los gases. La mezcla gaseosa no debe llenar mas que la mitad del eudiómetro, pues de lo contrario una parte del gas seria infaliblemente proyectada fuera del aparato. Es mas fácil evitar esta pérdida, tapando la boca del eudiómetro por medio de un tapon con válvula A. En el momento de la explosion, la fuerza elástica aumenta en el aparato, y el disco *i* se encuentra comprimido fuertemente contra la superficie del tapon, de suerte que no puede escaparse nada del interior. Tan luego como el calor se disipa, lo cual se verifica al cabo de muy cortos instantes, el agua formada se condensa en gotitas líquidas sobre las paredes del eudiómetro, y ocupa entónces un volúmen 2000 veces menor que el de los gases que le han dado orígen. La tension disminuye en el interior del aparato, la válvula *i* se levanta y el mercurio exterior entra en el eudiómetro.

Si el volúmen gaseoso desaparece del todo, es señal de que los gases introducidos se hallaban precisamente en las proporciones convenientes para formar agua; y esto es lo que en efecto sucederia, introduciendo exactamente 1 volúmen de gas oxígeno y 2 volúmenes de gas hidrógeno. Mas, en general, uno de los dos gases se

habrá puesto en exceso; y en este caso, se trasvasará el residuo gaseoso á la misma campana graduada, se medirá exactamente su volúmen, y se determinará en seguida su naturaleza, aproximando una pajuela ó cerilla encendida: si el gas se inflama, el residuo es de hidrógeno.

Supongamos que se hayan introducido en el eudiómetro

100 medidas de gas hidrógeno
75 » » oxígeno;

se encontrará que, despues de la combustion, quedan 25 de oxígeno. Luego 100 de hidrógeno se han combinado con 50 de oxígeno, ó 2 volúmenes de hidrógeno con 1 volúmen de oxígeno.

Puede ejecutarse el mismo experimento sobre la cuba de agua, pero no es posible ya reconocer la naturaleza del producto de la combustion. Cuando el eudiómetro ha de servir sobre la cuba de agua, las guarniciones metálicas son de laton. En los cursos de química se usa un eudiómetro de agua (fig. 158), cuyo manejo es sencillo. Se compone de un cilindro AB de vidrio, de paredes gruesas, destinado á contener la mezcla, el cual descansa y se ajusta en una armadura de laton BC, que tiene su llave S, y un embudo C para introducir fácilmente los gases. Por su parte superior comunica con un segundo embudo D, que se llena de agua, segun convenga: una llave R establece ó intercepta la comunicacion. Un tubo de vidrio graduado EF puede fijarse á rosca en el fondo del embudo ó cubeta D. En fin, la guarnicion metálica A tiene un taladro en r por el cual pasa un tubo de vidrio, pegado con lacre ú otro betun á propósito, y atravesado el mismo por una varilla de metal t, que de este modo se encuentra aislada de la guarnicion metálica, siendo sin embargo muy corta la distancia que interiormente las separa.

El juego del aparato es ya fácil de comprender. Abiertas las llaves R y S, se sumerge todo el eudiómetro en la cuba de agua hasta por encima de la cubeta D, quedando asi completamente lleno, se cierra la llave R, y se levanta el aparato. Se miden en el tubo graduado EF los gases oxígeno é hidrógeno, y se introduce la mezcla en el eudiometro: el embudo C facilita mucho esta introduccion. Para inflamar la mezcla, basta aproximar al boton t el pla-

Fig. 158

tillo cargado del electróforo, establecida como se halla la comunicacion entre el suelo y la armadura metálica A por medio de una tira de metal *p*. Se cierra la llave S á fin de evitar la pérdida de gas en el momento de la explosion.

Trátase ahora de medir el residuo gaseoso. Esto se hace fácilmente en el tubo graduado EF; y para el efecto, se llena de agua este tubo, se tapa su abertura con el dedo, y se le invierte sobre la cubeta D, llena enteramente de agua, fijándole al momento sobre la rosca que hay en el fondo. Abriendo ahora la llave R, el gas pasa al tubo graduado EF; y para medir su volúmen, se destornilla el tubo, y se le trasporta á la cuba, en la cual se le sumerge lo suficiente para establecer la coincidencia de los niveles interior y exterior.

La principal dificultad en los análisis eudiométricos que se ejecutan sobre el mercurio consiste en la *trasvasacion* de los gases; pero puede salvarse enteramente, empleando eudiómetros divididos en capacidades iguales. Para la construccion de estos eudiómetros se elige un tubo de cristal cerrado por un extremo, de 10 á 15 milímetros de diámetro interior, y de 1 á 2 milimetros próximamente de espesor en el vidrio. Se abren en este tubo dos pequeños taladros *a* y *b* (fig. 159), lo que se ejecuta fácilmente por medio de una punta muy fina de acero, montada á torno, á la cual se presenta el tubo, teniendo cuidado de mantener mojada con trementina la parte por donde deba taladrarse: de este modo se le puede atravesar de parte á parte sin riesgo de romperlo. Se fijan por medio de un mastic ó betun apropiado dos hilos de platino, que penetran en el interior de la campana ó tubo, quedando sus extremos muy cerca uno del otro.

b a

Fig. 159.

Tambien pueden soldarse al vidrio los hilos de platino por medio de una lámpara de esmaltar; y este procedimiento es preferible cuando las paredes de la campana tienen poco espesor.

Se divide despues el tubo en capacidades iguales, segun se ha dicho (página 112). Como las paredes de este eudiometro suelen ser menos gruesas que las del eudiómetro comun, es prudente el no sujetarlo con la mano en el momento de la explosion, siendo preferible sostenerlo por medio de un apoyo (fig. 160).

Puede emplearse tambien otra disposicion que tiene la ventaja de exigir solamente una cantidad muy pequeña de mercurio, y se reduce á un simple tubo encorvado en U. Para llenar de mercurio este eudiómetro, se le coloca en la posicion de la figura 161, y en seguida se le vuelve como en la figura 162: el brazo cerrado queda

lleno de mercurio. Se introducen los dos gases sumergiendo los tubos que los conducen en el brazo abierto B, y haciendo que pasen burbuja á burbuja al brazo A. Los volúmenes de los gases introducidos, y el del residuo despues de la combustion, se miden en el eudiómetro mismo, teniendo cuidado á cada medida de poner el mercurio al mismo nivel en los dos brazos; lo que se consigue fácilmente añadiendo ó sacando mercurio con el auxilio de un tubo, llamado *bombilla* ó *cataliquidos,* que lleva una bola en su medio, y cuyo extremo inferior recto ó encorvado ha sido adelgazado á la lámpara. Los líquidos pueden sacarse ó introducirse con este instrumento, aspirando ó inyectando el aire con la boca.

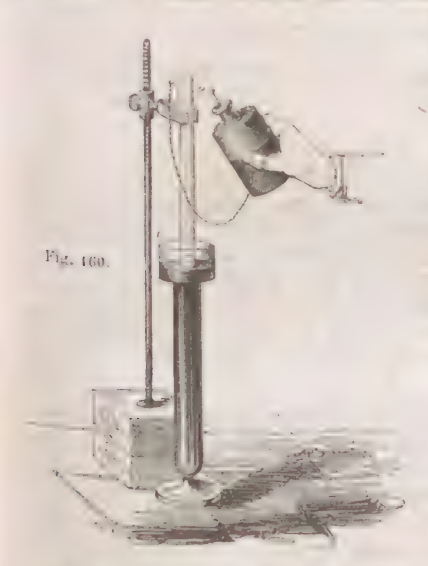

Fig. 160.

Fig. 161. Fig. 162.

Describiremos mas adelante en un capítulo especial, que consagraremos al análisis de las mezclas gaseosas, un aparato eudiométrico mas perfecto de cuantos hasta el presente hemos descrito, susceptible ademas de muchisima exactitud.

§ 89. El agua resulta, pues, de la combinacion de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno; y es fácil deducir de aquí la composicion del agua en peso, puesto que conocemos las densidades de estos dos gases. En efecto, 1 volúmen de aire pesa 1,0000

1 vol. de oxígeno pesa..................	1,1056
2 » de hidrogéno »........ $2 \times 0,0692 =$	0,1384
El agua producida pesa.....	1,2440.

Para tener la cantidad de hidrógeno y de oxígeno que for-

man 100 unidades, en peso, de agua, se establecerán las proporciones

$$1,2440 : 1,1056 :: 100 : x.$$

de donde $x=88,87$;

$$1,2440 : 0,1384 :: 100 : y,$$

de donde $y=11,13$;

luego 100 partes de agua contienen 11,13 de hidrógeno
88,87 de oxígeno
100,00.

Cuando 2 volúmenes de hidrógeno se combinan con 1 volúmen de oxígeno, ¿cuál es el volúmen del vapor de agua que resulta de la combinacion? Si los 2 volúmenes de hidrógeno, combinándose con 1 de oxígeno, no diesen mas que un solo volúmen de vapor de agua, la densidad de este vapor seria 1,244. Pero la experiencia directa ha dado para esta densidad un valor mitad menor, es decir, 0,622. Luego 2 volúmenes de hidrógeno, combinándose con 1 de oxígeno, han producido, no ya 1 volúmen sino 2 de vapor de agua.

§ 90. Fijemos por un momento nuestra atencion en la sencillez que nos presentan las relaciones entre los volúmenes de dos gases que se combinan, y el del vapor de agua que resulta de su combinacion. En vez de relaciones complicadas y variables al infinito que pudieran haberse obtenido, se ofrecen por el contrario relaciones de extrema sencillez; sin que esta sea una circunstancia casual, ni peculiar solamente del caso que nos ocupa. Hemos de encontrar todavía relaciones igualmente simples en las combinaciones de los otros gases elementales. El estudio de estas combinaciones ha conducido al descubrimiento de esta ley* importante de la naturaleza: *Cuando dos gases elementales se combinan, sus volúmenes guardan entre sí relaciones numéricas muy sencillas, y el volumen del compuesto que resulta, considerado en estado de gas, presenta tambien una razon muy simple con la suma de los volúmenes de los gases que han entrado en la combinacion.*

§ 91. Para determinar directamente los pesos de hidrógeno y oxígeno que se combinan para formar agua, se ha empleado otro procedimiento susceptible de mayor precision que el del eudiómetro. Muchos óxidos metálicos, calentados en una corriente de gas hidró-

* Esta ley ha sido descubierta por M. Gay-Lussac.

geno, sueltan su oxígeno, y quedan reducidos al estado metálico. Este oxígeno combinándose con el hidrógeno forma agua, que puede recogerse y pesarse. La pérdida de peso que experimenta el óxido metálico, da el peso del oxígeno que ha entrado en la composicion de esta agua. La diferencia entre los dos pesos da el del hidrógeno.

Es necesario emplear para este experimento gas hidrógeno puro y perfectamente desecado, que se prepara por medio del aparato descrito (§ 78), y representado en A, B, C, D, E (fig. 163). El óxido

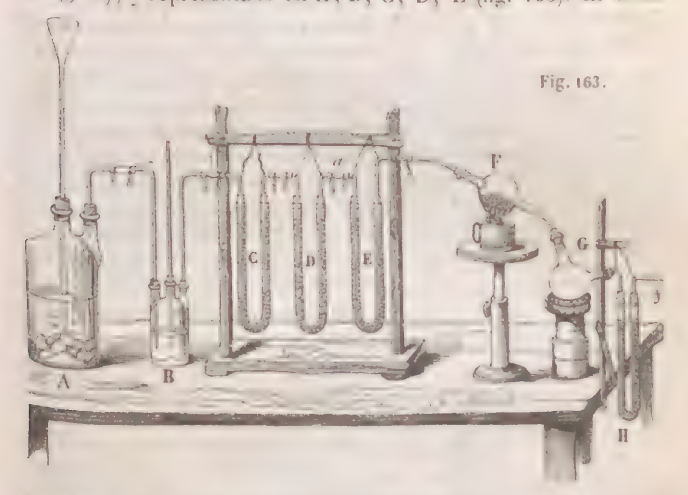


Fig. 163.

de cobre se coloca en un recipiente bitubulado F, de vidrio poco fusible, el cual comunica con otro G, destinado á recoger la mayor parte del agua formada durante la operacion: á este sigue un tubo H, lleno de piedra pómez impregnada de ácido sulfurico concentrado, que retiene las últimas porciones de agua.

Se pesa con el mayor cuidado, ántes de la operacion, primero el recipiente F vacío y bien seco, despues el mismo recipiente con el oxido de cobre perfectamente seco; y la diferencia entre los dos pesos dará el del oxido contenido. Se pesa tambien el recipiente G, y el tubo H. Dispuesto el aparato, se determina una corriente lenta de gas hidrógeno, y se continúa el desprendimiento durante un buen espacio, á fin de desalojar todo el aire del aparato. Cuando este se halla enteramente lleno de hidrógeno, se calienta el recipiente F con una lámpara de alcohol, que se coloca debajo. No tarda en

principiar la combustion del hidrógeno á expensas del oxígeno del óxido de cobre, y el agua producida corre en forma de rocío por las paredes del recipiente G, condensándose sus últimas porciones en el tubo H, que el gas hidrógeno en exceso ha de atravesar forzosamente ántes de salir al aire. Se continúa la operacion hasta que todo el óxido de cobre haya pasado al estado de cobre metálico. Se deja entónces enfriar el recipiente G, atravesado por la corriente de gas hidrógeno, y despues se desprende la parte del aparato que está á la izquierda del tubo de goma elástica *a*. Si los recipientes G, F y el tubo H, llenos ahora de gas hidrógeno, fueran pesados en este estado, la diferencia que se encontraria entre al peso de estos aparatos ántes y despues del experimento, dependeria, no solamente de las materias que en ellos se han condensado durante la reaccion, sino tambien del exceso de peso del aire que llenaba primitivamente el aparato, sobre el del hidrógeno que le ha reemplazado. Es menester, pues, que el aparato vuelva á sus primitivas condiciones, llenándole nuevamente de aire atmosférico. Para esto se adapta, por medio de un pequeño tubo de goma elástica, la extremidad *f* del tubo H (fig. 163), á la del I de la figura 164.



Fig. 164.

Este tubo, que comunica con la parte superior de un frasco aspirador V lleno de agua, contiene piedra pómez con ácido sulfúrico, para impedir que el vapor de agua del frasco penetre en el tubo H, cuyo peso aumentaria. Se abre la llave *r*, el agua sale, y es reemplazada por el aire que entra por *a* (fig. 163): este se despoja de su humedad en el tubo E lleno de piedra pómez, atraviesa el aparato F, G, H, y expele completamente al gas hidrógeno. Si se quiere obtener una corriente de aire aproximamente regular, bastará introducir el tubo en el agua hasta muy cerca del nivel correspondiente al orificio que da salida al líquido: el frasco aspirador funciona en este caso como un frasco de Mariotte, y la salida del líquido es casi regular, miéntras el nivel del agua no rebase la extremidad del tubo. Se pesan separadamente, primero el recipiente F, y despues el G con el tubo H. La diferencia entre el peso del recipiente con el óxido de cobre ántes del experimento, y el peso del

mismo con el óxido de cobre reducido, da el del oxígeno que ha entrado en la composicion del agua. El aumento de peso del recipiente G, y del tubo H da el del agua formada.

Los repetidos experimentos, y al propio tiempo los mas exactos que se han ejecutado por este método, han hecho ver que 100 partes, en peso, de agua contienen

Hidrógeno..............	11,11
Oxígeno................	88,89
	100,00.

§ 92. En el procedimiento que acabamos de describir para determinar la composicion del agua, como igualmente en el que hemos seguido valiéndonos del eudiómetro, tratamos de averiguar cuáles son los volúmenes ó los pesos de los elementos separados que entran en la constitucion de este líquido; es decir, hacemos lo que se llama la *síntesis* del agua. Pero suele determinarse tambien la composicion de los cuerpos compuestos por un método inverso. Tómanse estos cuerpos formados ya, y se les descompone de tal manera que puedan hallarse los pesos de sus elementos, ya aislando realmente estos elementos, ya empeñándolos en combinaciones cuya composicion sea conocida. Se hace entónces lo que se llama el *análisis* de la sustancia compuesta.

Hemos descrito (§ 73) un experimento para descomponer el agua, haciendo pasar su vapor por entre hierro contenido en un tubo de porcelana enrojecido al fuego. Si en este experimento se mide el volúmen de gas hidrógeno que se desprende, y por esta medida se deduce el peso de este gas; si por otra parte se determina el peso del oxígeno que se ha fijado sobre el hierro, pesando este ántes y despues de la operacion, se obtendrá aun la composicion del agua, y se habrá procedido por *via analítica*. Mas el experimento indicado no es susceptible de la exactitud suficiente.

La composicion del agua puede determinarse exactamente, valiéndose de la pila de Volta. Si se sumergen en el agua, ligeramente acidulada con ácido sulfúrico, los dos polos de una pila, terminados por hilos de platino, se ve que se desprenden pequeñas burbujas de gas á lo largo de cada hilo. Pueden recogerse estos gases en dos campanas separadas; y se observará que el gas desprendido del polo positivo es oxígeno, y el recogido en el polo negativo es hidrógeno, y que el volúmen de este último es precisamente doble que el del primero. Este experimento se hace ordinariamente en los cursos de química, por medio del aparato re-

presentado (fig. 165). Se abren en el fondo de una copa dos pequeños taladros, por los cuales se introducen dos hilos de platino. Para cerrar los intersticios que resultan, se vierte un poco de betun ó lacre fundido en el fondo de la copa. Se llena esta de agua acidulada, y se coloca encima de cada hilo una pequeña campana graduada. Basta ahora para descomponer el agua poner los hilos de platino en comunicacion con los dos polos de la pila. La corta cantidad de ácido sulfúrico que se añade, tiene por objeto hacer del agua un cuerpo mejor conductor de la electricidad, y facilitar en consecuencia su descomposicion por la pila.

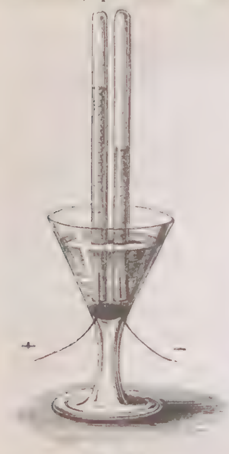


Fig. 165.

Se emplea el método sintético ó el analítico para determinar la composicion de los cuerpos, segun que uno ú otro de estos métodos se aplique mas fácil y exactamente al caso particular de que se trate.

§ 93. La composicion del agua suele expresarse de otro modo. En vez de averiguar cuánto hidrógeno y oxígeno hay en 100 partes de agua, se busca cuánto hidrógeno es menester para formar agua con 100 partes de oxígeno, y se dice :

	100,00	de oxígeno se combinan
con...........	12,50	de hidrógeno
y forman......	112,50	de agua.

Las cantidades 100 de oxígeno y 12,50 de hidrógeno se llaman *cantidades equivalentes* ó *equivalentes químicos*; y se ha *convenido* en llamar *equivalente del agua* al número 112,50, que es la cantidad de agua en que se encierran 100 de oxígeno y 12,50 de hidrógeno. Del mismo modo, si se consideran los cuerpos en estado gaseoso, 1 volúmen de oxígeno *equivale* á 2 volúmenes de hidrógeno para la formacion del agua, y se dice que el *equivalente* del oxígeno en volúmen es 1 volúmen, y que el *equivalente* del hidrogeno es de 2 volúmenes. En cuanto al equivalente del vapor de agua, segun la definicion anterior, es claro que será de 2 volúmenes; puesto que son menester 2 volúmenes de vapor de agua para encontrar en ellos 1 volúmen de oxígeno y 2 de hidrógeno.

Adoptaremos la letra O para expresar el equivalente del oxígeno, es decir, el peso 100 de oxígeno, y la letra H para el equivalente del

hidrógeno, ó el peso 12,50 de hidrógeno. El equivalente del agua, ó lo que es lo mismo, el peso 112,50 de agua, estará representado por HO. Así los caractéres H, O y HO no solamente recuerdan la naturaleza de los cuerpos que representan (§ 59), sino que expresan ademas pesos determinados de estos cuerpos, los pesos que llamamos *sus equivalentes*.

En fin, se expresa aun la composicion del agua de otro modo, que merece indicarse por haberlo adoptado muchos químicos.

Se admite que los cuerpos se hallan formados de moléculas indivisibles por los medios mecánicos, á las cuales se da el nombre de *átomos*. Supongamos que, cuando dos cuerpos se combinan, un átomo de uno de ellos se una con 1, 2, 3, 4, 5...... átomos del segundo, ó 2 átomos del primero con 3, 5, 7..... del segundo. La ley de la combinacion de los gases segun relaciones simples, ley que la experiencia ha demostrado, no será otra cosa que una consecuencia de las hipótesis precedentes, si admitimos que los números de átomos contenidos en volúmenes iguales de diferentes gases se hallan entre sí en relaciones simples. Admitamos todavía una hipótesis mas sencilla, á saber: que *todos los gases elementales contienen el mismo número de átomos bajo volúmenes iguales*. La experiencia ha demostrado que 1 volúmen de oxígeno se combina, para formar agua, con 2 volúmenes de hidrógeno; y podremos admitir en consecuencia, que 1 átomo de oxígeno se combina con 2 átomos de hidrógeno para formar 1 átomo de agua. Ahora bien, las relaciones entre las cantidades ponderables de oxígeno, de hidrogeno y de agua, dadas por la experiencia, son las de los números 100 : 12,50 : 112,50; luego podrá decirse que las relaciones entre los pesos del átomo de oxígeno, del átomo de hidrógeno y del átomo de agua son las de los números 100 : 6,25 : 112,50; ó aun de un modo absoluto, que el peso del átomo de oxígeno ó el *peso atómico* del oxigeno es..... 100,00,
que el peso atómico del hidrógeno es.................. 6,25,
y en fin, que el peso atómico del agua es............... 112,50.

Si se adoptan los caractéres H y O para representar los pesos atómicos del hidrógeno y del oxígeno, claro es que la formula atómica del agua será H^2O.

Se representa frecuentamente el átomo doble del hidrogeno por el símbolo Ḩ. La formula del agua es entonces ḨO. Muchos químicos representan los átomos de oxígeno por un número igual de puntos que colocan sobre el símbolo del cuerpo combinado con el oxígeno; y así escriben el agua $\dot{Ḩ}$.

Adoptaremos exclusivamente en esta obra la notacion de los equivalentes.

Bióxido de hidrógeno, HO^2.

§ 94. El hidrógeno es susceptible de combinarse con una cantidad de oxígeno mayor de la que constituye el agua. Esta segunda combinacion ha recibido el nombre de *bióxido de hidrógeno* ó de *agua oxigenada**. Hemos visto (§ 66) que el peróxido de manganeso calentado con ácido sulfúrico concentrado, se reduce al estado de protóxido, el cual se combina con el ácido sulfúrico, dando lugar á un desprendimiento de oxígeno. Otros peróxidos experimentan igual descomposicion, en frio, y en presencia de ácidos dilatados en agua; pero el oxígeno libre no se desprende ya, y queda combinado con el agua: esto es lo que sucede con los peróxidos de bario, de estroncio y de potasio, siendo el primero el que se emplea para la preparacion del agua oxigenada. Se tritura este peróxido, se le añade agua, y el todo se bate bien en un mortero de porcelana á fin de formar una papilla líquida. Se incorpora esta por pequeñas porciones á una mezcla de 1 parte de ácido clorhídrico ordinario y 3 de agua, puesta en una cápsula de porcelana, y se remueve continuamente con una varilla de vidrio. El peróxido de bario se disuelve sin desprendimiento de gas, y se forman cloruro de bario, agua y oxígeno, que queda combinado con el agua.

Bióxido de bario.... { Oxígeno. .... Bióxido de hidrógeno.
{ Protóxido de bario } Bario. ....
{ ó barita. .... { Oxigeno > Agua..
Acido clorhídrico ... { Hidrógeno. .... Cloruro de bario.
{ Cloro. ....

Las sustancias que ponemos en presencia son el bióxido de bario, cuya fórmula es BaO^2, y el ácido clorhídrico que escribiremos HCl. El agua del hidrato de bióxido de bario se separa, combinada con la mitad del oxígeno de este bióxido, y de consiguiente en el estado de bióxido de hidrógeno, que se disuelve en el resto del agua. Los productos de la reaccion son cloruro de bario BCl, y bioxido de hidrógeno que debemos escribir HO^2, segun pronto vamos á ver. Podremos ya expresar esta reaccion por la equivalencia siguiente:

$$BaO^2 + HCl = BaCl + HO^2.$$

Cuando el ácido clorhídrico se halla casi saturado por la barita, se vierte en la disolucion ácido sulfurico, que precipita el bario en es-

* El bióxido de hidrógeno fue descubierto en 1818 por M. Thenard.

tado de sulfato de barita insoluble, y el ácido clorhídrico se vuelve á formar en el seno del líquido.

Cloruro de bario. .. { Cloro............. / Bario.... > Barita. } Acido clorhídrico.
Agua............... { Oxígeno. / Hidrógeno........ } Sulfato de barita.
Acido sulfúrico.........................

$$BaCl + HO + SO^3 = BaO.SO^3 + HCl.$$

El ácido sulfúrico se va echando gota á gota, hácia lo último de la operacion, para no emplearlo en exceso. Se separa el sulfato de barita por la filtracion al través de un lienzo fino, y se obtiene un líquido que es idéntico al primitivo, con la sola diferencia de contener una cierta cantidad de bióxido de hidrógeno. Puede tratarse este líquido como el primitivo, disolviendo una nueva cantidad de bióxido de bario hasta la saturacion del ácido clorhídrico, y en seguida volviendo á precipitar la barita por el ácido sulfúrico. Al fin de la segunda operacion, la disolucion ácida contiene dos veces mas bióxido de hidrógeno que despues de la primera: y, cuando estas se han repetido cierto número de veces, se halla ya bastante cargada de bióxido de hidrógeno, aunque contiene siempre ácido clorhídrico, del que es menester privarla. Para esto se vierte en ella, por pequeñas porciones, sulfato de plata: se forma cloruro de plata, que se precipita, y ácido sulfúrico, que se disuelve en el líquido.

Acido clorhídrico. .. { Cloro............... / Hidrógeno. > Agua. } Cloruro de plata.
Sulfato de plata..... { Oxígeno... / Plata............... / Acido sulfúrico.

$$AgO.SO^3 + HCl = AgCl + SO^3 + HO.$$

Se precipita á su vez el ácido sulfúrico por una disolucion de barita, que se vierte gota á gota, á fin de no echar mas que la cantidad estrictamente necesaria. Se filtra por última vez el líquido, y se evapora debajo de la campana de la máquina neumática, colocándole sobre una cápsula ancha que contenga ácido sulfúrico concentrado. Por este medio puede reducírsele al mayor grado de concentracion, y aun obtenerse el bióxido de hidrógeno completamente puro.

No debe olvidarse una precaucion esencial para el buen resultado de la operacion, y es la de mantener sumergido en hielo el vaso que contiene el líquido ácido, miéntras este disuelve el bióxido de bario; pues de no hacerlo así, se calentaria por causa del calor producido en esta reaccion, y podria originar la descomposicion de una gran parte del bióxido de hidrógeno. Los precipitados de sul-

fato de barita que se separan sucesivamente, retienen siempre una porcion no despreciable de líquido, que puede aprovecharse exprimiéndolos bien, despues de colocados en un lienzo. Conviene ademas echar de cuando en cuando algunas gotas de ácido clorhídrico, para reemplazar el que se pierde en estas manipulaciones sucesivas.

Puede simplificarse este procedimiento, y disminuirse mucho el número de filtraciones, procediendo del modo siguiente: despues de haber saturado por primera vez la disolucion de ácido clorhídrico con bióxido de bario, se vierte en ella una nueva cantidad de ácido clorhídrico concentrado, y luego una segunda dósis de bióxido de bario, que produce otra nueva cantidad de bióxido de hidrógeno y de cloruro de bario. Exponiendo la disolucion á una temperatura muy baja, una gran parte del cloruro de bario cristaliza; y se le separa decantando el líquido á otro vaso. Se echa de nuevo ácido clorhídrico, despues bióxido de bario y así sucesivamente. Se llega de este modo á obtener una disolucion muy cargada de bióxido de hidrógeno, que nunca contiene mas que la cantidad de cloruro de bario que puede disolverse á una temperatura muy baja. Esta cantidad no es considerable, si se cuida, á lo último, de rodear el vaso de la disolucion con una mezcla refrigerante, formada de hielo machacado y sal marina, que hace bajar la temperatura hasta —10°. Para separar el cloruro de bario que queda disuelto, se vierte por pequeñas porciones sulfato de plata, que precipita a la vez el cloro en estado de cloruro de plata, y el bario en estado de sulfato de barita. Se separan estos precipitados, y se evapora la disolucion en el vacío de la máquina neumática.

§ 95. El bióxido de hidrógeno, reducido á su máximo de concentracion, forma un líquido incoloro, de consistencia de jarabe, y dotado de un olor particular. Su densidad es de 1,453. No ha podido ser solidificado á ninguna temperatura; y es muy poco estable, pues se descompone espontáneamente á unos 15 o 20°. Calentado, su descomposicion es muy rápida, y se verifica á veces con explosion. El bióxido de hidrógeno disuelto en el agua es mas estable, y no se descompone en este estado, sino calentándole á 40 ó 50°.

La fácil descomposicion del bioxido de hidrogeno por el calor simplifica considerablemente su análisis. Se pesa una cierta cantidad de bióxido, se le disuelve en el agua y se hace hervir la disolucion, recogiendo al mismo tiempo el oxígeno que se desprende. Ahora bien, se observa que esta cantidad de oxigeno es precisamente igual á la que existe en la cantidad de agua que proviene de la descomposicion del bióxido, y que se encuentra restando del peso del bióxido sometido al análisis el del oxígeno recogido.

Se emplea para este análisis el aparato que representa la figura 166. La disolucion de bióxido de hidrógeno se pone en un pequeño matraz A, al cual se adapta un tubo, cuya parte encorvada *bcd* se sumerge en una probeta C llena de mercurio, de tal modo que la extremidad *d* del tubo quede encima del nivel del líquido. Antes de adaptar el tapon al cuello del matraz, se introduce en la probeta C una campana dividida B, que se va sumergiendo hasta que el extremo *d* de la rama *cd* venga á parar muy cerca de su parte superior: se fija la campana en esta posicion por medio de un apoyo S. Se adapta en seguida el tapon, y se enrasa exactamente el nivel del mercurio dentro y fuera de la campana, lo que se ejecuta con facilidad, subiéndola ó bajándola un poco, ó bien añadiendo ó sacando de la probeta C una pequeña cantidad de mercurio con auxilio de una bombilla; por último, se observa y anota la division a que se detiene el mercurio.



Fig. 166.

Se calienta el matraz; y, á proporcion que el oxígeno se desprende, se va levantando la campana á fin de mantener la igualdad de presion interior y exteriormente. Cuando el agua ha hervido algunos instantes, la descomposicion es completa. Se deja que el aparato recobre su temperatura ordinaria, se restablece el nivel del mercurio, y se anota la division que enrasa con el: el aumento de volúmen de gas en la campana representa el volúmen del oxígeno desprendido.

Acabamos de ver que el bióxido de hidrógeno produce, descomponiéndose por el calor, cantidades de agua y de oxígeno tales, que el oxígeno desprendido es precisamente igual al que existe en el agua que queda libre. Ahora bien, el agua está formada de 1 equivalente de hidrógeno y 1 equivalente de oxígeno, y escribimos su fórmula HO; deberá pues considerarse el bioxido de hidrogeno como formado de 1 equivalente de hidrógeno y 2 de oxígeno, y escribirse su fórmula química HO^2.

Siendo las disoluciones de bioxido de hidrógeno mas estables

cuando contienen un poco de ácido clorhídrico, se las deja ordinariamente con una pequeña porcion de este ácido, si se quiere conservarlas.

El bióxido de hidrógeno cede fácilmente su oxígeno á un gran número de sustancias, y convierte los óxidos metálicos en peróxidos. Descolora como el cloro la tintura de tornasol; y una gota que caiga sobre la piel produce una mancha blanca.

§ 96. La disolucion de bióxido de hidrógeno puesta en contacto de ciertos cuerpos presenta fenómenos muy notables. Con el oro, el platino, la plata, muy divididos, ó con ciertos óxidos metálicos, como el peróxido de manganeso, el peróxido de plomo, etc., se descompone con efervescencia, desprendiendo oxígeno; miéntras las sustancias que han efectuado la descomposicion no sufren alteracion ninguna. Estas sustancias han obrado por su presencia, pero no han entrado químicamente en la reaccion. Esta accion misteriosa ha sido llamada *accion de presencia* ó *accion catalítica*, y la volveremos á encontrar en muchos fenómenos. Conviene observar que las sustancias actúan en este caso con tanta mas eficacia, cuanto mas divididas se encuentren, pues el desprendimiento de oxígeno solo se verifica en la superficie.

Si se vierten sobre el agua oxigenada, cuando se halla en completa descomposicion por la presencia de la plata ó del peróxido de manganeso, algunas gotas de ácido sulfúrico, el desprendimiento de gas se detiene inmediatamente, pero se reproduce saturando el ácido por una base. Las sales no descomponen el agua oxigenada.

Los óxidos metálicos de muy fácil reduccion, como los de oro, plata y platino, presentan con el agua oxigenada un fenómeno muy notable: no solamente el agua oxigenada se descompone, sino que los óxidos mismos sueltan su oxígeno, y quedan reducidos al estado metálico.

La fácil descomposicion que experimenta el agua oxigenada, en contacto del peróxido de manganeso, suministra un medio sencillo para determinar aproximadamente la riqueza de una disolucion de bióxido de hidrógeno. Se llena de mercurio una pequeña campana dividida, y se pasa á su parte superior, con auxilio de una bombilla, una pequeña cantidad de la disolucion. Se nota el número de divisiones que esta ocupa, y se introduce en ella el peróxido de manganeso muy dividido, envuelto en papel sin cola. La descomposicion comienza tan luego como el polvo toca al líquido; y el volumen del oxígeno que se desprende, comparado con el volumen de la disolucion que lo ha producido, dará la riqueza del bióxido de hidrógeno.

AZOE ó NITRÓGENO *.

Equivalente = 175,0.

§ 97. Hemos visto que el aire atmosférico no alimenta la combustion de los cuerpos, sino en virtud del oxígeno que contiene. Cuando el oxígeno del aire ha sido absorbido por el cuerpo combustible, queda por residuo un gas en que se apagan inmediatamente los cuerpos en combustion. Este gas es el azoe; y se concibe por lo dicho que su preparacion ha de ser fácil. Se coloca sobre la superficie del agua de una cuba (fig. 167) un disco de corcho, en el cual se dispone una pequeña cápsula de porcelana. Se introduce en esta cápsula un pedazo de fósforo, al que se da fuego, y se la cubre en seguida con una campana. La combustion continúa dentro del espacio limitado, lleno de aire, hasta que el oxígeno ha desaparecido enteramente por causa de su combinacion con el fósforo; resultando de esta ácido fosfórico, que se disuelve en el agua.



Fig. 167.

Cuando se ha apagado el fosfóro y enfriado el gas, se echa de ver que el volúmen de este ha tenido una merma considerable: de $\frac{1}{5}$ próximamente.

Cuando solo convenga obtener un pequeño volúmen de gas azoe, puede absorberse con el fosfóro el oxígeno del aire sin necesidad de inflamar aquel cuerpo, ó sea á la temperatura ordinaria; bastando para ello dejarlo expuesto dentro de una campana llena de aire, y colocada sobre la cuba, por espacio de veinte y cuatro horas.

El cobre, enrojecido por el fuego, posee tambien la propiedad de absorber completamente el oxígeno del aire. Se obtiene con facilidad una corriente de gas azoe puro, empleando un gasómetro análogo al que hemos descrito (§ 65). Se introducen en un tubo de vidrio poco fusible *ef* (fig. 168) pedazos de cobre, que presenten mucha superficie, como las pequeñas virutas ó desperdicios que resultan del metal cuando se le trabaja al torno ó se le desbasta. Uno de los extremos *e* de este tubo comunica con el surtidor *e* del gasómetro, y al opuesto *f* se ajusta un tubo encorvado para re-

* El nombre de *nitrógeno* (que engendra el nitro) ha sido dado á este gas, por formar con el oxígeno un ácido, el *ácido azótico*, llamado tambien *ácido nítrico*, el cual combinándose con la potasa, forma el azoato ó nitrato de potasa, que se conoce comunmente con el nombre de *nitro* ó salitre.

coger el gas. Como el aire atmosférico contiene siempre una corta cantidad de ácido carbónico, y ademas se halla saturado de humedad en el interior del gasómetro, será necesario, para obtener el gas azoe perfectamente puro, hacer que el aire pase, ántes de su llegada al tubo que contiene el cobre, por un primer tubo T lleno de piedra pómez humedecida en una disolucion de potasa cáustica, á fin de absorber el ácido carbónico; y por un segundo tubo T′ que contenga piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico concentrado, que absorberá el agua. El tubo de vidrio *ef*, que encierra el cobre, se coloca sobre un pequeño hornillo de palastro, estrecho y largo, por

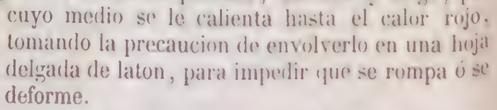

cuyo medio se le calienta hasta el calor rojo, tomando la precaucion de envolverlo en una hoja delgada de laton, para impedir que se rompa ó se deforme.



Fig. 168.

El azoe puede prepararse por otro procedimiento, empleado á menudo en los laboratorios, que permite igualmente obtenerlo muy puro; y se reduce á descomponer el amoniaco por el cloro. El amoniaco está formado de hidrógeno y de azoe: una parte es descompuesta por el cloro, el cual se combina con el hidrogeno para formar ácido clorhidrico, y este a



Fig. 169

su vez se une con el amoniaco no descompuesto, formando clorhi-

drato de amoniaco, que se disuelve en el agua. El gas azoe, que queda libre, se desprende.

El matraz (fig. 169) contiene una mezcla de peróxido de manganeso y ácido clorhídrico: el gas cloro que se desprende en esta reaccion pasa por un frasco bitubulado, lleno hasta la mitad de una disolucion acuosa de gas amoniacal, en la que pierde instantáneamente su color amarillo; desprendiéndose al mismo tiempo del líquido una infinidad de pequeñas burbujas de gas azoe, que pueden recogerse cuando todo el aire ha sido expelido del aparato.

Este experimento no ofrece riesgo ninguno, siempre que la disolucion amoniacal conserve un exceso de amoniaco; pero si continúa el desprendimiento de cloro despues que todo el amoniaco ha sido convertido en clorhidrato, el cloro actuará sobre el clorhidrato de amoniaco dando orígen á un compuesto sumamente peligroso, que mas tarde estudiaremos con el nombre de *cloruro de azoe*. Este cuerpo se presenta bajo el aspecto de gotitas oleaginosas amarillas, y es necesario evitar su formacion con el mayor cuidado, por ser uno de los cuerpos mas fulminantes que se conocen.

Puede obtenerse igualmente gas azoe muy puro y en gran cantidad calentando, hasta que hierva, una disolucion concentrada de nitrito de amoniaco, puesta en un recipiente de vidrio: la sal se descompone en agua y en azoe. La composicion del nitrito de amoniaco se halla representada por la fórmula $AzH^3HO.AzO^3$, que contiene los elementos de 4 equivalentes de agua y 2 de azoe. En efecto se tiene:

$$AzH^3HO.AzO^3 = 4HO + 2Az.$$

§ 98. El azoe es un gas incoloro, sin olor ni sabor. No ha podido ser liquidado hasta el dia bajo ninguna presion. Su densidad es 0.9713; es decir, un poco menor que la del aire. Una luz se apaga instantáneamente en este gas (fig. 170).

Fig. 170

Los animales no pueden vivir en una atmósfera de azoe, y perecen en ella por la falta de oxígeno, gas esencial á su respiracion. Por esta propiedad se ha dado al azoe el nombre que lleva (de α, partícula privativa, y ζωή, vida). Sin embargo, este gas no ejerce evidentemente ninguna accion deletérea sobre los organos, pues los $\frac{4}{5}$ del aire atmosférico son constituidos por el azoe.

El agua disuelve muy escasa cantidad de azoe, proximamente los

$\frac{25}{1000}$ de su volúmen, ó en otros términos, 1 litro de agua disuelve 25 centímetros cúbicos de gas, ó, 1 kilógramo de agua disuelve $0^{gr},034$ de azoe.

Aire atmosférico.

§ 99. El aire atmosférico consiste esencialmente en una mezcla de oxígeno y de azoe, en proporciones que, segun se encuentra, son sensiblemente las mismas en todos los puntos del globo. Contiene ademas una cantidad muy pequeña de gas ácido carbónico, y otra cantidad variable de vapor de agua. El aire encierra todavía, si bien en proporciones casi inapreciables, algunos otros gases ó vapores, que provienen de la descomposicion de materias vegetales y animales.

§ 100. Vamos á describir los diversos métodos que sirven para determinar exactamente la composicion del aire atmosférico *.

* El aire era considerado por los antiguos como uno de los cuatro elementos de la naturaleza, y esta opinion errónea dominó sin oposicion alguna casi hasta fines del siglo XVIII.

Lavoisier fué el primero que probó de un modo incontestable, que el aire era una mezcla de dos gases, dotados de propiedades distintas, y llegó á determinar con poca diferencia sus proporciones. Hé aquí cómo el ilustre químico describió el experimento memorable que le condujo á este resultado (*Tratado elemental de Química*, t. I, p. 35, 2ª edicion):

« He introducido cuatro onzas de mercurio muy puro en un matraz de 36 pulgadas cúbicas de capacidad poco mas ó menos, de un cuello muy largo y de 6 á 7 líneas de diámetro interior, encorvado, segun se ve en la figura 171, á fin de poder colocar el vaso sobre un hornillo MN, de modo que la extremidad O fuese á parar al interior de una campana PQ, dispuesta sobre un baño de mercurio RS. Despues, aspirando con un sifon, que he metido debajo de la campana PQ, he elevado el mercurio hasta LL; he marcado cuidadosamente esta altura, pegando una tirita de papel, y he observado con exactitud el barómetro y el termómetro.

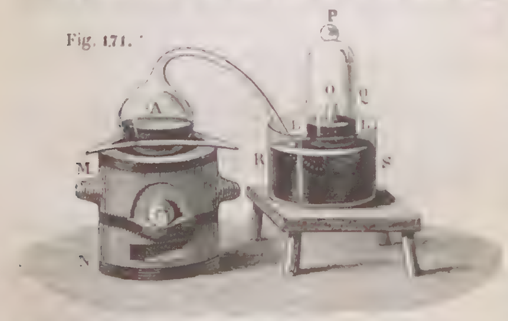


Fig. 171.

« Dispuesto así el aparato, he encendido fuego en el hornillo MN, y lo he alimentado casi por igual durante doce dias, de manera que su temperatura se mantuviera poco mas ó menos al grado necesario para hacer hervir el mercurio.

« Nada pasó de notable en el primer dia: el mercurio, aunque sin hervir, se hallaba en un estado de evaporacion continua: tapizaba el interior de los vasos de

Este análisis se compone siempre de dos operaciones que se ejecutan separadamente : la primera tiene por objeto determinar el

gotitas, al principio muy finas, pero que iban despues aumentando, y cuando habian adquirido un cierto volúmen, caian por su propio peso en el fondo del vaso, y se reunian al resto del mercurio. El segundo dia empezé á ver flotar sobre la superficie del mercurio algunas partecillas rojas, que en los cuatro ó cinco dias sucesivos aumentaron en número y volúmen; y despues cesaron de aumentar, quedando absolutamente en el mismo estado. Al cabo de doce dias, viendo que la *calcinacion* del mercurio (oxidacion del mercurio) no adelantaba mas, apagué el fuego, y dejé enfriar los vasos. El volúmen de aire contenido en el matraz, en su cuello y en la parte vacía de la campana, reducido á una presion de veinte y ocho pulgadas y á 10° del termómetro, era ántes de la operacion de cincuenta pulgadas cúbicas con corta diferencia. Terminada aquella, este mismo volúmen, bajo presion y temperatura iguales, ha quedado solamente entre cuarenta y dos y cuarenta y tres pulgadas cúbicas : ha habido pues una merma de un sexto próximamente de volúmen. Por otra parte, habiendo reunido con el mayor cuidado las partecillas rojas que se habian formado, separándolas en cuanto fué posible del mercurio que las mojaba, se encontró que su peso era de cuarenta y cinco granos.

« El aire que quedó despues de la operacion, y que se habia reducido á los cinco sextos de su volúmen por la calcinacion del mercurio, no era ya propio para la respiracion ni la combustion; pues los animales que se introducian en él morian á los pocos instantes, y las luces se apagaban de repente como si fueran sumergidas en el agua.

« He tomado ademas los cuarenta y cinco granos de materia roja que se habia formado durante la operacion, los he introducido en una pequeña retorta de vidrio á la que se adaptaba un aparato propio para recoger los productos líquidos y aeriformes que pudieran separarse; y habiendo encendido fuego en el hornillo, he observado que, á proporcion que la materia roja se iba calentando, su color se volvia mas intenso. Cuando la accion del calor llegó despues á ser bastante fuerte, la materia roja principió á disminuirse poco á poco, y en algunos minutos desapareció enteramente; al mismo tiempo se condensaron en el pequeño recipiente cuarenta y un granos y medio de mercurio sublimado, pasando á la campana unas siete ú ocho pulgadas cúbicas de un flúido elástico, mucho mas propio que el aire atmosférico para alimentar la combustion y la respiracion de los animales.

« Habiendo introducido una porcion de este aire en un tubo de vidrio de una pulgada de diámetro, y sumergido en él una luz, esta daba un brillo deslumbrador : el carbon, en vez de consumirse tranquilamente en este flúido como en el aire ordinario, ardia con llama y una especie de decrepitacion parecida á la del fósforo, despidiendo una luz tan viva que la vista podia apénas soportar.

« Reflexionando sobre las circunstancias de este experimento, se ve que el mercurio, calcinándose (oxidándose), absorbe la parte salubre y respirable del aire; y que la porcion restante es una especie de aire mefítico, incapaz de alimentar la combustion y respiracion. El aire atmosférico se halla por consiguiente compuesto de dos flúidos elasticos de naturaleza distinta y, por decirlo así, opuesta.

« Una prueba de esta importante verdad es, que volviendo á combinar los dos flúidos elasticos que se han obtenido separadamente, es decir, las cuarenta y dos pulgadas cúbicas de aire no respirable y las ocho de aire respirable, se forma otra vez un flúido igual en un todo al de la atmósfera, esto es, propio casi en el mismo grado para la combustion, la calcinacion de los metales y respiracion de los animales. »

Lavoisier añade que la proporcion de gas respirable, hallada por su experimento, es probablemente algo menor de lo que debe ser, porque no se logra combinarle totalmente con el mercurio.

ácido carbónico y el vapor de agua, y por la segunda se averiguan las proporciones de oxígeno y azoe que entran en el aire, despojado ya de su ácido carbónico y de su vapor de agua.

La figura 172 representa el aparato propio para determinar con

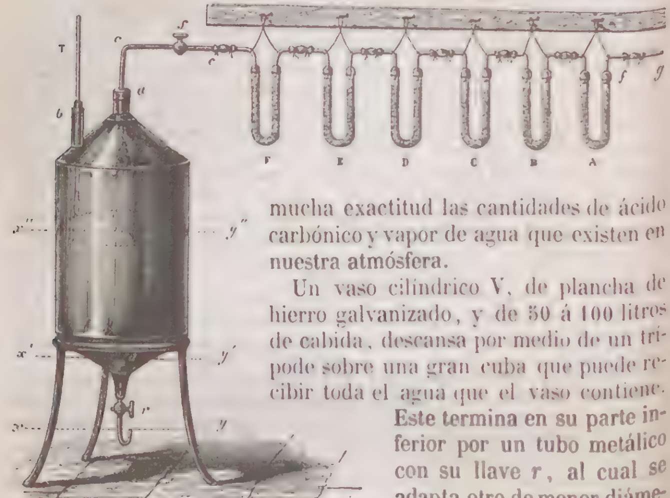


Fig. 172.

mucha exactitud las cantidades de ácido carbónico y vapor de agua que existen en nuestra atmósfera.

Un vaso cilíndrico V, de plancha de hierro galvanizado, y de 50 á 100 litros de cabida, descansa por medio de un trípode sobre una gran cuba que puede recibir toda el agua que el vaso contiene. Este termina en su parte inferior por un tubo metálico con su llave *r*, al cual se adapta otro de menor diámetro, de 1 decímetro poco mas ó menos de longitud, y rematado en gancho. En la parte superior hay dos golletes *a* y *b*. El del centro *a* sirve para introducir un tubo metálico *ad*, que se ajusta á la abertura por medio de un tapon de metal y con lacre ú otro betun apropiado, debiendo cerrarla herméticamente: este tubo *ad*, abierto en sus dos extremos, se encorva en *c*, y tiene una llave en *s*. El gollete lateral *b* permite adaptar, con auxilio de un tapon cubierto de lacre, un termómetro T, cuyo depósito viene á quedar hácia la mitad de la altura del vaso V.

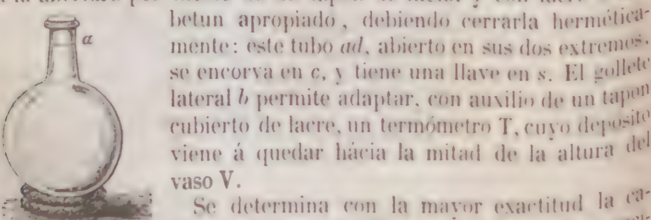


Fig. 173.

Se determina con la mayor exactitud la cabida del vaso V. Para esto se toma un recipiente de vidrio, como el que representa la figura 173, de unos 10 litros de cabida, sobre cuyo cuello se graba una raya horizontal *a*; se llena de agua hasta la señal *a*, y se pesa. Se le vacía en seguida, se le dan algunos sacudimientos á fin de

hacer caer las últimas porciones de agua, que por este medio se despegan muy fácilmente de sus paredes, y despues se pesa de nuevo. La diferencia entre los dos pesos encontrados da la cantidad de agua que ha salido del recipiente. Es fácil comprobar que, llenando de agua este vaso repetidas veces á la misma temperatura, y vaciándolo de la misma manera, dándole al fin igual número de sacudimientos, se encontrará siempre el mismo peso P de agua con algunos decígramos de diferencia solamente.

Se llena el vaso V de agua tomada á la misma temperatura, y se ajustan el termómetro T y el tubo *ad*. Hallándose abierta la llave *s*, se abre la *r*, y se recoge en el recipiente (fig. 173) el agua que sale, hasta que llegue á la señal *a* : se detiene entónces la salida cerrando la llave *r*, y se vacía el recipiente de la misma manera que al determinar su cabida. Se le coloca otra vez debajo de la llave *r*, se llena aun hasta el nivel *a*, y se continúa así hasta que el vaso V quede enteramente vacío. Se halla de este modo que el recipiente se ha llenado hasta *a* un cierto número de veces *n*, y, si en la última operacion no se llena del todo, se pesa el agua que contiene. Supongamos que se encuentre un peso de agua *p*, es evidente que el vaso V contenia un peso de agua representado por $n\text{P}+p$. Si este líquido tuviese la temperatura de $+4^{\circ}$, el peso $n\text{P}+p$, dividido por el peso del agua que tenga la unidad de cabida, nos daria la del vaso V; ó mas sencillo todavía, el peso $n\text{P}+p$ en kilógramos representaria la capacidad del vaso V en litros; pues, como sabemos, 1 kilógramo representa el peso de 1 litro ó de 1 decímetro cúbico de agua destilada á 4°. Pero en general el agua se hallará á una temperatura *t*, en que presente una densidad menor que á 4°; y esta densidad δ, para una temperatura cualquiera *t*, se encuentra en todos los tratados de física. El volúmen del vaso V en litros, suponiendo el peso $n\text{P}+p$ expresado en kilógramos, estará segun esto representado por

$$\text{V}=\frac{n\text{P}+p}{\delta}.$$

Para determinar las cantidades de ácido carbónico y de vapor de agua que existen en el aire, se llena el vaso V de agua, y se adapta al tubo *c* un sistema de tubos A, B, C, D, E, F. Los tubos A, B, E, F están llenos de fragmentos gruesos de piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico concentrado; los tubos C y D contienen tambien pedazos de piedra pomez humedecida con una disolucion concentrada de potasa cáustica; y en fin, al último tubo A se ajusta un tubo largo *fg*, que va á buscar el aire fuera del laboratorio, en el espacio donde se le quiera analizar.

Los tubos en U, que contienen la piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico ó de potasa, están tapados en sus dos extremos con buenos tapones de corcho, atravesados por tubos de vidrio mas estrechos, y encorvados como manifiesta la figura 172. Se tiene cuidado de cubrir los tapones con lacre que se extiende y se alisa bien, pues hay mas seguridad por este medio de que cierren herméticamente, y ademas no se hallan expuestos al aire, ni pueden variar de peso absorbiendo ó perdiendo la humedad durante el curso del experimento. Los tubos se unen entre sí por el intermedio de otros pequeños tubos de goma elástica, que se aprietan fuertemente contra los de vidrio con cordones de seda.

Los dos tubos A y B se han pesado juntos, y lo propio se ha hecho con los tres C, D y E. En cuanto al tubo F, no hay necesidad de pesarlo; va siempre unido al aparato, y tiene por objeto único evitar que llegue al tubo E el vapor de agua que se desprende del vaso V.

Dispuesto así el aparato, se da salida al agua del vaso V, que se llama un *aspirador*. Esta salida del líquido puede solo realizarse, cuando las burbujas de aire llegan al vaso por el tubo ad; ademas, se verificará con una velocidad constante, puesto que se efectúa bajo la presion de la columna de agua, comprendida entre el nivel xy del orificio inferior y el $x'y'$ del orificio del tubo ad. En efecto, el tubo ad lleno de aire comunica libremente con la atmósfera por el sistema de los A, B, C, D, E, F; y en consecuencia, sobre toda la capa de nivel $x'y'$ que pasa por el orificio d, se ejerce una presion igual á la de la atmósfera exterior. En el plano xy, la presion que tiende á hacer salir el agua es igual á la atmosférica, aumentada con la presion que produce la columna de agua comprendida entre los niveles xy y $x'y'$. La presion que se opone á la salida del agua es la de la atmósfera exterior; la salida se verificará, segun esto, en virtud de la presion que ejerce la columna de agua comprendida entre los niveles $x'y'$ y xy, y será tanto mas rápida, para una abertura constante de la llave r, cuanto la columna de agua entre xy y $x'y'$ tenga mas altura.

Efectuándose la salida del líquido únicamente bajo la presion de la columna comprendida entre los niveles xy y $x'y'$, siempre que el nivel de agua en el vaso V sea superior al plano $x'y'$, no podrá menos de ser constante. Mas no sucederá lo mismo para la entrada del aire, que irá acelerándose conforme el nivel del agua vaya bajando en el vaso V. Supongamos que este nivel haya llegado al plano $x''y''$; la presion en el plano $x'y'$ es igual á la de la atmósfera exterior: en un instante cualquiera esta presion se equi-

libra con la fuerza elástica del gas que se encuentra en la parte superior del vaso V, y ademas, con el peso de la columna líquida comprendida entre los planos de nivel $x''y''$ y $x'y'$. Así, suponiendo que el vaso sea perfectamente cilíndrico, á proporcion que el nivel del agua vaya bajando de una manera regular en virtud de la salida constante del líquido, la cantidad de aire que penetrará en el aparato durante un minuto, por ejemplo, irá siempre aumentando: pues no solo debe llenar el vacío, constantemente igual, que se produce por la salida del agua, sino que debe dar un aumento tambien constante á la fuerza elástica del aire interior; de tal modo, que esta fuerza aumentada con la presion de la columna líquida comprendida entre los planos $x''y''$ y $x'y'$, que va siempre disminuyendo, se equilibre con la presion de la atmósfera exterior que se ejerce sobre el nivel $x'y'$.

La regularidad absoluta de la corriente de aire que atraviesa nuestro aparato no es indispensable para el buen resultado del experimento que nos ocupa; sin embargo hemos querido llamar la atencion sobre esta circunstancia, porque dicha regularidad es necesaria para otros experimentos, y era útil hacer ver que no se la obtiene por la disposicion que acabamos de describir.

El aire exterior atraviesa pues, ántes de penetrar en el vaso V, la serie de tubos A, B, C, D, E, F. En los dos tubos A y B se despoja de su humedad, y en los C y D de su ácido carbonico. Pero, como el gas al llegar á estos últimos está completamente seco, y la disolucion de potasa cáustica le cede una cantidad sensible de vapor de agua, se ha tenido cuidado de poner á continuacion otro tubo E lleno de piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico, que retiene esta pequeña cantidad de agua.

Cuando el aspirador queda enteramente vacío, se observa y anota la altura H del barómetro, y la temperatura t del termómetro T. Se separan los tubos en U, y se pesa otra vez el sistema de tubos A, B, y el de los C, D, E. El aumento de peso que estos dos sistemas de tubos han tenido durante el experimento da, para los A y B, la cantidad de vapor de agua, y para los C, D, E, la cantidad de ácido carbónico existente en el aire atmosférico que ha atravesado el aparato. Trátase ahora de determinar el peso de este aire segun los datos que nos ha suministrado el experimento.

El volumen de aire que llena el aspirador es V; pero este aire se halla saturado de vapor á la temperatura t. Designemos por f la fuerza elástica máxima del vapor de agua á esta temperatura t. La fuerza elástica del aire seco que ha penetrado en el aparato es $H-f$

ha entrado pues en nuestro aparato una cantidad de aire atmosférico tal que, despues de haber perdido completamente su vapor de agua y su ácido carbónico, ocupa un volúmen V á una temperatura t, y bajo uno presion $H-f$. El peso P de este aire desecado y privado de ácido carbónico es por consiguiente

$$P = V.1^{gr},2932.\frac{1}{1+0,00367\,t}.\frac{H-f}{0,760}.$$

Supongamos que el peso del ácido carbónico encontrado sea p, y que el del vapor de agua sea p'; es evidente que podremos deducir de nuestro experimento, que un peso $P+p+p'$ de aire atmosférico, en las condiciones en que lo hemos analizado, contiene p de ácido carbónico, y p' de vapor de agua; y podrán calcularse, por una simple proporcion, las cantidades de ácido carbónico y de agua que se encuentran en 100 partes de este aire atmosférico.

Es importante que la piedra pómez colocada en los tubos se encuentre en gruesos fragmentos, y esté solamente humedecida, y no empapada de líquido, á fin de que no pueda acumularse un exceso de este en la parte inferior de los tubos en U. El aire exterior debe atravesar muy libremente el sistema de estos tubos; pues de no ser así, el aire que llena el aspirador V podria tener al fin de la operacion una fuerza elástica notablemente mas débil que la del aire exterior.

Hemos encorvado hácia arriba el extremo del tubo adicional en que remata la llave r, para que la parte encorvada quede llena de agua despues que haya salido el líquido, y el aire no pueda penetrar en el vaso V por la abertura de esta llave.

La experiencia ha hecho ver que el aire atmosférico libre contiene cantidades de ácido carbónico variables entre 4 y 6 milésimas. En cuanto al vapor de agua, su cantidad varía entre límites extendidos, segun la temperatura del aire y su estado de saturacion.

§ 101. Supongamos ahora, que el aire se halle despojado de su ácido carbónico y de su vapor de agua, y veamos cómo se determinan las proporciones de oxígeno y de azoe que contiene. Muchos procedimientos pudieran conducirnos á este resultado, pero vamos á describir los mas perfectos.

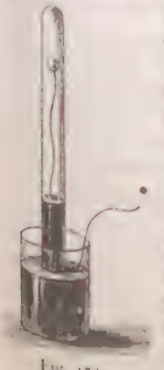
Hay muchas sustancias que absorben el oxígeno del aire, aun á la temperatura ordinaria. Bastará pues para hacer el análisis de este flúido, introducir un cierto volumen de él en una campana graduada; medir este volúmen muy exactamente y en condiciones determinadas; introducir la sustancia absorbente, dejandola expuesta en la campana hasta que el volumen de gaz no disminuya

sensiblemente; y por último, medir de nuevo con mucha precision el volúmen restante, que debe ser de azoe puro.

La sustancia absorbente mas propia para el objeto es el fósforo. El experimento se ejecuta del modo siguiente:

Se funde fósforo dentro del agua, despues se le vacía, siempre en el agua á 40° próximamente, en una turquesa ó molde de balas. Se introduce en la cavidad del molde, miéntras el fósforo se conserva aun líquido, un hilo de platino, que se retuerce por su extremo en forma de garabato. Se saca el molde del agua tibia, para sumergirlo en seguida en agua fria que solidifica el fósforo; y se obtiene así una bolita de este cuerpo fija sólidamente á la extremidad del hilo de platino.

Hecho esto, se introduce en una campana graduada, colocada sobre el mercurio, un cierto volúmen de aire que se mide con cuidado. Las paredes interiores de la campana deben estar aun un poco húmedas, si bien han debido enjugarse con papel sin cola, lo suficiente nada mas para que no quede adherida ninguna gotita de agua. El aire destinado al análisis se hallará saturado de humedad por la muy corta porcion de agua que le ceden las paredes de la campana. Sea t la temperatura exterior, H la altura del barómetro, f la tension del vapor de agua que corresponde á la temperatura t, y que se encontrará en una pequeña tabla anexa á esta obra.


Fig. 174.

El volúmen de gas V observado, si estuviese seco, seria á la temperatura de 0° y bajo la presion de 0m,760,

$$V \cdot \frac{1}{1 + 0,00367 . t} \cdot \frac{H - f}{0,760}.$$

Se introduce ahora en el gas la bolita de fósforo (fig. 174), lo que es fácil por medio del hilo de platino á que se halla unida, y se la tiene sumergida hasta que el volúmen de gas no disminuya, para lo cual es menester un tiempo bastante largo, y frecuentemente mas de 24 horas. La absorcion marcha con mas rapidez colocando la campana al sol. Cuando esta absorcion es completa, se saca la bolita de fósforo por medio del hilo de platino que sale fuera de la campana, y se mide el volúmen del gas restante, así que haya tomado la temperatura t' del aire ambiente. Supongamos que este volúmen sea V', la presion barométrica H', y en fin, que la fuerza elástica del vapor de agua en estado de saturacion, correspon-

diente á la temperatura t', sea f' : el volúmen ocupado por este aire privado de su humedad, á la temperatura de 0° y bajo la presion normal de 0m,760, será

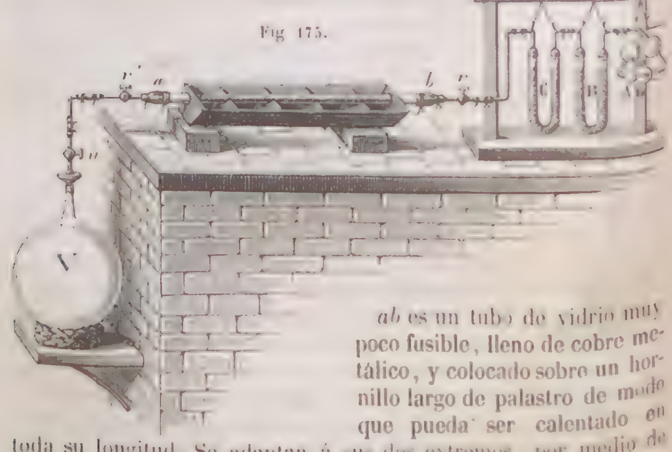
$$V'.\frac{1}{1+0,00367.t'}.\frac{H'-f'}{0,760}.$$

Este será tambien el volúmen de gaz azoe contenido en un volúmen $V.\frac{1}{1+0,00367.t'}.\frac{H-f}{0,760}$ de aire atmosférico seco, despojado de su ácido carbónico; y por él podrán deducirse inmediatamente los respectivos volúmenes de azoe y de oxígeno que se encuentran en 100 partes de aire atmosférico.

Pueden emplearse igualmente, para analizar el aire, sustancias que no absorben el oxígeno á la temperatura ordinaria, pero que se combinan enérgicamente con este cuerpo, cuando han adquirido una temperatura elevada. Podrá aun disponerse el experimento de modo que se obtengan á la vez los dos pesos : el del oxígeno que se ha fijado en la sustancia absorbente, y el del azoe que ha quedado libre.

Esta disposicion, representada en la figura 175, podrá conducirnos á resultados exactos, y es la siguiente :

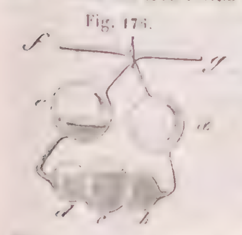
Fig 175.



ab es un tubo de vidrio muy poco fusible, lleno de cobre metálico, y colocado sobre un hornillo largo de palastro de modo que pueda ser calentado en toda su longitud. Se adaptan á sus dos extremos, por medio de goma elástica, los tubos con llave *r* y *r'*. Por el extremo *a*, comunica el tubo con un globo de vidrio V, de unos 20 litros de cabida, provisto de su llave *u*; y por el opuesto *b* con un sistema de aparatos A, B, C

El aparato A, representado mas en grande en la figura 176, tiene por objeto absorber el ácido carbónico del aire. Este aparato que se llama *aparato con bolas* ó simplemente *tubo de Liebig* (del nombre del hábil químico que ha inventado esta disposicion ingeniosa) consiste en tres bolas *b*, *c*, *d* dispuestas sobre un mismo eje, y en otras dos *a* y *e* colocadas en un plano superior, y comunicando con las primeras por medio de tubos estrechos. Se introduce en el aparato una disolucion concentrada de potasa, de manera que se llenen enteramente las tres bolas inferiores. Si en tal estado se aspira el aire lentamente por el tubo *g*, el aire exterior penetra por *f*, y atraviesa la disolucion de potasa, pasando sucesivamente de la bola *b* á la bola *c*, de esta á la *d*; y por último, para pasar á la bola *e*, le queda aun que atravesar una nueva columna de disolucion de potasa. El gas permanece por este medio en contacto con la potasa mucho mas tiempo del que emplearia atravesando solamente una columna líquida, rectilínea y no interrumpida, y por consiguiente se encontrará en condiciones mas favorables para la absorcion del ácido carbónico.

Fig. 176.



El tubo B (fig. 175) está lleno de fragmentos de piedra pómez humedecida en una disolucion concentrada de potasa cáustica, para absorber las últimas porciones de gas ácido carbónico que pudieran escaparse del aparato A.

En fin, el tubo C está lleno de fragmentos de piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico concentrado, y sirve para desecar completamente el aire.

Esto supuesto, se hace el vacío tan perfectamente como sea posible en el tubo *ab*, y se cierran las dos llaves *r* y *r'*. Se pesa este tubo vacío de aire; supongamos que se le encuentre un peso *p*. Se hace tambien el vacío en el globo V, tan completamente como sea posible; y se le pesa: representemos por P su peso.

Se adapta ahora el aparato, y se calienta hasta el rojo el tubo *ab*, se abre en seguida la llave *r'*: el aire exterior penetra en el tubo *ab*, despues de haber atravesado la serie de los A, B, C, que le despojan de su ácido carbónico y de su vapor de agua: cede su oxígeno al cobre enrojecido, y el azoe, que queda solo, pasa entonces al globo, abierta que sea la llave *u*, y muy poco la llave *r* á fin de que el gas éntre con mucha lentitud. Por lo demas, se juzga facilmente de la marcha de la aspiracion, por las burbujas que atraviesan el tubo de Liebig A, las cuales deben pasar lentamente y de una en

una. Cuando este paso se va retardando, lo cual sucede necesariamente á medida que disminuye la diferencia entre la fuerza elástica del gaz en el globo y la del gas exterior, se abre mas la llave r; y al fin de la operacion, se la abre completamente. Tan luego como cese la aspiracion, se cierran las tres llaves r', r, u, se quita el fuego, y se desarma el aparato.

Se pesa el globo V, sea P′ su peso; P′ — P será evidentemente el peso del gas azoe que ha entrado en el globo.

Se pesa igualmente el tubo ab, sea p' su peso; $p'-p$ será el del oxígeno que se ha fijado en el cobre metálico, aumentado con la cantidad de gas azoe que se encuentra en este tubo. Esta última cantidad se halla fácilmente, haciendo otra vez el vacío en el tubo, y determinando su peso p''; $p'-p''$ vendrá á ser el peso del azoe aspirado con la máquina neumática, y $p''-p$ el del oxígeno que se ha fijado en el cobre metálico.

Encontramos por resultado final, que un peso de azoe

$$(P'-P)+(p'-p''),$$

y el del oxígeno

$$(p''-p)$$

forman un peso de aire atmosférico seco y despojado de su ácido carbónico, que estará representado por

$$(P'-P)+(p'-p'')+(p''-p)=(P'-P)+(p'-p).$$

Será ahora fácil determinar, por una proporcion, los pesos de oxígeno y de azoe que entran en 100 partes en peso de aire atmosférico; y, como se conocen las densidades del oxígeno y del azoe, puede igualmente deducirse la composicion del aire en volúmen.

§ 102. Al pesar el globo V son indispensables algunas precauciones particulares, si se desean resultados perfectamente exactos. Esta operacion se practica por necesidad en el aire; ahora bien, se sabe que un cuerpo sumergido en un flúido pierde de su peso una parte igual al de flúido desalojado. El volúmen de aire desalojado por el globo es el mismo en cada uno de los dos momentos en que se determina su peso; y, si el aire tuviese la misma densidad en estos dos tiempos distinctos, la diferencia P′ — P no seria afectada por esta circunstancia, y daria exactamente el peso del azoe que ha entrado en el globo. Mas, si el aire ha experimentado algun cambio en el intérvalo de aquellas dos operaciones, á consecuencia de las variaciones de temperatura y de presion barométrica, el peso del aire desalojado no será el mismo en los dos tiempos, y la diferencia P′ — P no representará ya exactamente el peso del azoe que ha entrado en el globo. Es difícil calcular convenientemente la cor-

reccion que deba hacerse en el valor encontrado P′ — P, pero puede procederse de modo que se evite esta causa de error.

Los globos de vidrio, y en general todos los aparatos voluminosos, deben pesarse, colgándolos por el intermedio de una varilla metálica, de un gancho fijo á la parte inferior de los platillos de la balanza (fig. 177). En vez de igualar el globo, pendiente de uno de los

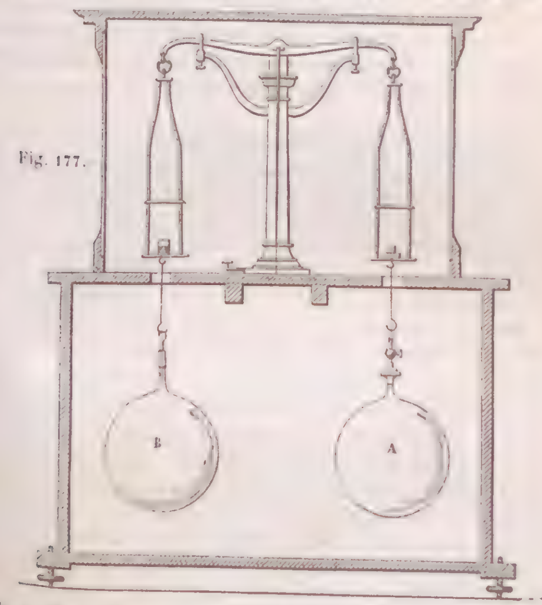


Fig. 177.

platillos, con pesas ordinarias colocadas en el platillo opuesto, se le equilibra con un segundo globo cerrado herméticamente, y de un volúmen exterior igual al del primero. Se suspende el segundo globo debajo del otro platillo de la balanza, de forma que venga á oscilar en la misma capa de aire que el primero. Desalojando los dos globos el mismo volúmen de aire, es claro que serán afectados exactamente del mismo modo por todas las variaciones que sobrevengan á este aire, y que la diferencia de peso P′ — P será independiente de estas variaciones.

Réstanos hacer ver cómo pueden disponerse dos globos que desalojen exactamente el mismo volúmen de aire.

Para esto, se empieza por determinar con la mayor precision el volúmen de aire desalojado por el globo A que debe servir en el ex-

perimento. Con este objeto se le llena completamente de agua, y se le pesa sumergido en este líquido, que debe tener la misma temperatura exactamente del que ha servido para llenarlo. El peso aparente del globo lleno de agua no es muy considerable, y podrá hallarse, suspendiendo este á uno de los platillos. Se saca el globo del agua, y se le pesa otra vez en el aire, despues de haber enjugado la superficie exterior. Sirve para determinar este segundo peso, una balanza comun, de bastante fuerza, que lo dará con la aproximacion suficiente para el caso. La diferencia entre los dos pesos obtenidos será evidentemente el peso del agua desalojada por el volúmen exterior del globo.

Se elige un segundo globo B, que tenga poco mas ó menos la misma cabida que el globo A; se determina el peso del agua que desaloja su volúmen exterior, procediendo del mismo modo que lo hemos hecho para el primero. Supongamos que el volúmen exterior de este segundo globo sea algo menor que el del primero con su llave y su guarnicion metálica: se adaptará al cuello del globo B, con un betun ordinario de resina, una armadura metálica, formada de un cilindro de laton que termine en gancho para colgar el globo debajo del platillo de la balanza. Supongamos aun que el peso del agua desalojada por esta armadura, añadido al que hemos encontrado precedentemente para el agua desalojada por el volúmen exterior del globo B, sea inferior en n gramos al peso del agua desalojada por el globo A; bastará en tal caso añadir al globo B un pequeño tubo de vidrio, cerrado por sus extremos, que desaloje precisamente n centímetros cúbicos de agua; pues sabemos que 1 gramo es el peso exacto de 1 centímetro cúbico de agua destilada á $+4°$. Con algunos tanteos se obtiene un tubo que satisface á esta condicion.

Si el globo B, con su armadura, es mucho mas ligero que el globo A, se introduce en el B, ántes de cerrarlo herméticamente, una cierta cantidad de mercurio, de manera que los dos se equilibren proximamente, y baste solo añadir un pequeño peso para hacer el equilibrio perfecto. La figura 177 representa los dos globos pendientes de los platillos de una balanza de Fortin. Conviene siempre, que la balanza se halle colocada en un armario formado de tablas delgadas, á fin de preservar los globos de las corrientes de aire; pues de este modo se tiene mas seguridad de que ambos oscilan en capas de aire de una misma temperatura, y ademas de que no están sujetos á las influencias irregulares que ocasionaria la presencia del experimentador. Pueden por otra parte observarse de lejos las oscilaciones de la balanza con auxilio de un anteojo.

§ 103. El análisis del aire atmosférico puede ejecutarse tambien con mucha exactitud por medio del eudiómetro.

Se introduce un cierto volúmen V de aire atmosférico en este vaso, cuyas paredes interiores, si bien algun tanto enjugadas, deben conservarse todavía húmedas. La temperatura es t, la presion barométrica H, y la fuerza elástica del vapor, en estado de saturacion á la misma temperatura t, es f. El volúmen de aire seco será pues, á 0° y bajo la presion de $0^m,760$,

$$V.\frac{1}{1+0,00367.t}.\frac{H-f}{0,760}=V_0.$$

Se introduce ahora un volúmen de gas hidrógeno, algo menor que el del aire, y se mide el volúmen V′ de gas: la temperatura y la presion no habrán variado sensiblemente en el intérvalo de las dos medidas, y se obtendrán en general los mismos valores de t, H y f. Mas supongamos, para mayor generalidad, que estas cantidades lleguen á convertirse en t', H′ y f': el volúmen de la mezcla gaseosa seca seria, á 0°, y bajo la presion normal de $0^m,760$,

$$V'.\frac{1}{1+0,00367.t'}.\frac{H'-f'}{0,760}=V'_0.$$

V'_0-V_0 será por consiguiente el volúmen de hidrógeno seco en las condiciones normales.

Se hace pasar la chispa eléctrica: el oxígeno del aire quema un volúmen de gas hidrógeno, dos veces mayor que el suyo propio, y el producto de la combustion se condensa en estado de agua líquida, cuyo volúmen será despreciable, comparado con el de los gases que la han producido. Restablecido el equilibrio de temperatura entre el eudiómetro y el aire ambiente, se mide el volúmen de los gases restantes. Supongamos que este sea V″, la presion barométrica H″, la temperatura t'', y que f'' represente la fuerza elástica del vapor en estado de saturacion, correspondiente á la temperatura t'': el volúmen de la mezcla gaseosa seca será, á 0°, y bajo la presion de $0^m,760$,

$$V''.\frac{1}{1+0,00367.t''}.\frac{H''-f''}{0,760}=V''_0.$$

$V'_0-V''_0$ vendrá á ser el volumen, referido á las condiciones normales, de los gases hidrógeno y oxígeno secos que se han combinado.

$\frac{V'_0-V''_0}{3}$ será el volumen de oxígeno,

$2\frac{V'_0-V''_0}{3}$ será el del hidrógeno.

De aquí resulta que un volúmen V_0 de aire atmosférico contiene un volúmen $\frac{V'_0 - V''_0}{3}$ de oxígeno, y un volúmen $V_0 - \frac{V'_0 - V''_0}{3}$ de azoe.

El análisis eudiométrico del aire atmosférico da resultados bastante exactos, cuando se practica con el cuidado conveniente: pero si se quiere todavía una exactitud mayor, será útil emplear un eudiómetro de una construccion particular, segun hemos indicado página 117, y que describiremos en el cuarto tomo de este curso, al tratar del análisis de las mezclas y compuestos gaseosos.

El resultado de una multitud de análisis ha venido á probar que el aire atmosférico contiene por término medio en volúmen

Oxígeno............	20,90
Azoe..............	79,10
	100,00

y en peso

Oxígeno............	23,10
Azoe..............	76,90
	100,00.

El aire tomado en parajes muy distantes entre sí, y á diferentes alturas en la atmósfera, ha presentado solamente variaciones insensibles en su composicion.

Es muy fácil tomar un pequeño volúmen de aire en los puntos donde quiera determinarse su composicion. Basta para ello preparar algunos tubos de vidrio adelgazados en sus dos extremos, y de 30 á 40 centímetros cúbicos de capacidad. Se sopla hácia el interior de estos tubos con un fuelle, situándose en el punto mismo cuyo aire quiera analizarse, y se cierran en seguida las puntas adelgazadas con una lámpara de alcohol ó una bujía. El aire encerrado en estos tubos se conserva indefinidamente sin alteracion, y puede analizarse en el laboratorio por los procedimientos eudiométricos.

§ 104. La perfecta invariabilidad que se observa en la composicion del aire, ha inducido á algunos químicos á considerar el aire atmosférico, no como una mezcla de dos gases, oxígeno y azoe, sino como una verdadera combinacion química de estos mismos gases. Vamos á exponer las razones principales que rebaten esta opinion errónea, y prueban que los gases oxígeno y azoe están simplemente mezclados en el aire atmosférico.

La experiencia ha demostrado que dos gases se combinan siempre segun relaciones de volúmen sumamente sencillas. Ahora bien, la

relacion mas simple y mas aproximada á los resultados de los análisis directos sobre la composicion del aire, es la siguiente:

$\frac{1}{5}$ de oxígeno......	ú oxígeno....	20,00
$\frac{4}{5}$ de azoe.........	ó azoe......	80,00
		100,00.

Estos números difieren mucho de los resultados del análisis, para que pueda atribuirse la diferencia á los errores que den los experimentos, tanto menos cuanto que estos análisis, ejecutados por métodos muy diversos, han conducido siempre al mismo resultado.

Cuando dos gases se combinan, la combinacion se verifica siempre con desprendimiento de calor; pero cuando se mezcla el oxígeno con el azoe no se nota el menor cambio de temperatura; y, si se toman estos dos gases en las proporciones que constituyen el aire, se obtiene una mezcla gaseosa, idéntica bajo todos aspectos al gas de nuestra atmósfera.

Pero la prueba mas positiva de que el aire es solamente una mezcla de oxígeno y azoe, nos la da su modo de obrar en presencia del agua. Hemos visto (§ 86) que el agua, cuando ha permanecido mucho tiempo en contacto del aire, contiene siempre una cierta cantidad de gas en disolucion, y hemos descrito el procedimiento para separar y recoger este gas. Si el aire atmosférico es un compuesto de gas azoe y de oxígeno, los gases disueltos en el agua deberán presentar la misma composicion que el aire atmosférico, es decir, deberán encerrar

Oxígeno.........	20,90
Azoe............	79,10
	100,00.

Si, por el contrario, el aire no es mas que una simple mezcla de dos gases, no teniendo el oxígeno y el azoe la misma solubilidad, la composicion de los gases disueltos habrá de ser diferente de la del aire atmosférico, y podrá calcularse aun segun la regla indicada (§ 86).

Admitamos para mayor claridad, que el aire esté formado de $\frac{1}{5}$ de oxígeno y de $\frac{4}{5}$ de azoe: siendo $\frac{1}{n'}$ la fraccion de solubilidad para el oxígeno y $\frac{1}{n}$ para el azoe, los dos gases deberán encontrarse en disolucion en el agua, segun las relaciones

$\frac{1}{5}\cdot\frac{1}{n'}$ de oxígeno

$\frac{4}{5}\cdot\frac{1}{n}$ de azoe;

es así que $\frac{1}{n'}=0,046$, $\frac{1}{n}=0,025$,

luego tendremos en el gas disuelto

Oxígeno....	$\frac{1}{5}$.0,046......	0,0092......	31,5
Azoe.......	$\frac{4}{5}$.0,025......	0,0200......	68,5
		0,0292	100,0.

Ahora bien, el análisis directo de la mezcla gaseosa sacada del agua ha hecho ver que este gas contenia

Oxígeno............	32,0
Azoe...............	68,0
	100,0.

Lo cual está conforme, en cuanto puede desearse, con la composicion que hemos calculado fundándonos en la ley de solubilidad de los gases, y admitiendo que el aire atmosférico es una mezcla de oxígeno y azoe.

COMBINACIONES DEL AZOE CON EL OXÍGENO.

§ 105. Conocemos en el dia cinco combinaciones definidas del azoe con el oxígeno :

1° El protóxido de azoe;
2° El deutóxido de azoe;
3° El ácido azotoso, ó ácido nitroso;
4° El ácido hipoazótico, ó ácido hiponítrico;
5° El ácido azótico, ó ácido nítrico.

Las cantidades de oxígeno combinadas con la misma cantidad de azoe en estos cinco compuestos, guardan entre sí las relaciones de 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Podremos segun esto representar dichos compuestos por las fórmulas siguientes :

1° El protóxido de azoe.....	AzO;
2° El deutóxido de azoe.....	AzO^2;
3° El ácido nitroso.........	AzO^3;
4° El ácido hiponítrico.....	AzO^4;
5° El ácido nítrico.........	AzO^5.

Dos de estas combinaciones son ácidas, los ácidos nitroso y nítrico, y las tres restantes son indiferentes.

Como el ácido nítrico es el que se emplea para obtener las demás combinaciones del azoe con el oxígeno, convendrá que principiemos su estudio por el de este ácido.

Acido nítrico AzO^5.

§ 106. Se prepara el ácido nítrico calentando el salitre, ó nitrato de potasa, en contacto con ácido sulfúrico concentrado. El ácido nítrico es un ácido menos enérgico y mas volátil que el ácido sulfúrico, y en consecuencia es desalojado de sus combinaciones por este último, pasando fácilmente por destilacion.

El ácido nítrico recibió primitivamente este nombre, y no el de ácido azótico, que en rigor debe llevar, mudando en *ico*, segun sabemos, su terminacion latina; por ser extraido del nitrato de potasa, que tambien se llama *nitro*. Por lo demas el nombre de ácido nítrico está admitido en el dia con bastante generalidad, á pesar de no hallarse conforme con nuestras reglas de nomenclatura química.

El ácido nítrico privado de agua, que hasta el presente no habia podido aislarse, acaba de ser obtenido en este estado, ó como suele decirse *anhidro*. Prepárase esta importante sustancia, tratando por cloro el nitrato de plata bien seco, calentado á 50 ó 60° : la sal se trasforma en cloruro de plata, y, sobre las paredes frias del aparato, se depositan cristales blancos, prismáticos, de *ácido nítrico anhidro*. Se desprende el oxígeno del óxido de plata, con vapores nitrosos y otra porcion de oxígeno procedentes de una parte de ácido nítrico que se descompone.

El ácido nítrico anhidro se funde á 27°,5; hierve hácia los 46°, y á una temperatura poco superior á su punto de ebullicion, se descompone en oxígeno y en ácido hiponítrico.

El ácido nítrico hidratado, mas comunmente conocido, puede tener diferentes grados de concentracion. El mas concentrado contiene todavía un 14 por 100 de agua; su densidad es de 1,522, y hierve á 86°. Añadiendo á este ácido una corta cantidad de agua, y sometiendo la mezcla á la destilacion, las primeras porciones que pasan encierran mas ácido real que el líquido que se mantiene en la retorta. Si se observa la marcha de un termómetro sumergido en el líquido hirviendo, se ve que su temperatura se eleva continuamente hasta que llega á 123°, punto en que queda estacionaria; y el líquido que destila entónces presenta una composicion constante, que es de un 40 por 100 de agua.

Si por la inversa, en vez de añadir poca agua al ácido mas concentrado, se le echa una porcion considerable, y se sujeta despues la nueva mezcla á la destilacion, en una retorta tubulada, provista de un termometro, este marcará al principio una temperatura próxima á 100°, pero que irá subiendo hasta 123°, fijándose en este

punto durante toda la destilacion. Las primeras porciones que se sacan son de agua casi pura, las siguientes encierran mayor cantidad de ácido, de forma que el líquido que va quedando en la retorta, se concentra mas y mas hasta que solo contiene un 40 por 100 de agua. Ahora bien, la experiencia ha demostrado que todos los compuestos homogéneos, que no se descomponen á la ebullicion, hierven á una temperatura constante bajo la misma presion. Cuando un líquido presenta así una temperatura constante miéntras destila, hirviendo bajo una misma presion, se le considera como un líquido homogéneo, y se dice que es un *compuesto en proporciones definidas*. El líquido ácido, formado de 60 por 100 de ácido nítrico real, presenta, pues los caractéres de un compuesto en proporciones definidas; y su densidad es de 1,42.

En el primer hidrato de ácido nítrico, la relacion del oxígeno del agua con el oxígeno contenido en el ácido real es de 1 á 5 : su fórmula es por lo tanto

$$AzO^5+HO.$$

En el segundo hidrato esta relacion es de 4 á 5, y la fórmula

$$AzO^5+4HO.$$

§ 107. El primer hidrato AzO^5+HO se congela á — 50°. Es incoloro cuando está puro, pero se altera prontamente bajo la influencia de la luz, y toma un color amarillo. En esta circunstancia la luz determina la descomposicion del ácido nítrico, y resultan oxígeno y ácido hiponítrico AzO^4, que queda disuelto en el ácido no descompuesto. El ácido nítrico AzO^5+HO es, segun se ve, una combinacion muy poco estable; tambien se descompone muy fácilmente por el calor, pues basta someterlo á varias destilaciones sucesivas para que se descomponga en cantidad muy notable. Si se pasan los vapores de ácido nítrico por un tubo de porcelana calentado á un fuego fuerte, el ácido se descompone completamente en azoe y en oxígeno. Si el tubo no se calienta tanto, los productos de la descomposicion son oxígeno y ácido hiponítrico.

Cuando se trata de quitar al ácido nítrico AzO^5+HO el agua que contiene, se descompone en oxígeno y en ácido nitroso; y esto es lo que sucede cuando se le destila con 4 veces su peso de ácido sulfúrico concentrado ó con ácido fosfórico anhidro, que presentan una afinidad poderosa con el agua.

El ácido nítrico AzO^5+HO posee una afinidad muy marcada con el agua: se calienta cuando se le mezcla con este líquido, y esparce humos en el aire húmedo. Esta última propiedad ha sido causa de

que se dé á este hidrato el nombre de *ácido nítrico fumante*; y consiste en que el vapor de ácido nítrico monohidratado AzO^5+HO tiene una tension mayor, á temperatura igual, que el de los otros ácidos nítricos que encierran proporciones mas considerables de agua. Resulta de esto que, cuando los vapores del ácido monohidratado llegan al aire húmedo, y se han combinado con una nueva cantidad de agua, el ácido mas hidratado no puede permanecer totalmente en estado de vapor invisible, y una porcion notable se precipita en forma de niebla.

El segundo hidrato AzO^5+4HO es mucho mas estable que el primero, pues no se descompone bajo la influencia sola de la luz, ni por destilaciones repetidas. Destilándole con su peso próximamente de ácido sulfúrico concentrado, se le pueden quitar los $\frac{3}{4}$ de su agua, y el primer hidrato AzO^5+HO pasa entónces por destilacion. Convendrá no emplear un grande exceso de ácido sulfúrico, pues de lo contrario se descompondria una porcion notable de ácido nítrico.

§ 108. El ácido nítrico se deja descomponer fácilmente por una multitud de sustancias, á las cuales cede una porcion de su oxígeno. El carbon y el azufre lo verifican á la temperatura de la ebullicion, y muchos metales á la temperatura ordinaria. Es uno de los agentes oxidantes mas enérgicos que diariamente se emplean en los laboratorios.

Siendo el ácido nítrico, en su máximo de concentracion, mucho menos estable que los ácidos mas hidratados, deberia suponérsele una accion oxidante mucho mas enérgica que la de estos últimos. Esto sucede en efecto con la mayor parte de las sustancias; y así el azufre, fósforo y carbon son atacados mucho mas vivamente por el primer hidrato AzO^5+HO que por los ácidos mas dilatados. Preséntase sin embargo lo contrario con muchos metales; por ejemplo, el hierro y el estaño que son atacados fuertemente por el ácido nítrico un poco debilitado, no manifiestan reaccion sensible con el mismo ácido en su máximo de concentracion; pero la accion se aviva considerablemente, cuando se añade una cierta cantidad de agua.

El ácido nítrico destruye la mayor parte de las sustancias animales; mancha la piel de amarillo; la lana se tiñe tambien del mismo color, cuando se la pone en contacto de este ácido, y se saca partido de esta propiedad para los tintes.

§ 109. El azoe y el oxígeno pueden combinarse bajo la influencia de la chispa eléctrica, produciendo ácido nítrico; pero es indispensable que intervenga la presencia del agua, ó mejor la presencia simultánea del agua y de una base poderosa. Para demostrarlo, se dispone un tubo encorvado en U (fig. 178) lleno de mercurio, de

modo que sus dos extremos se sumerjan en dos vasos separados, llenos tambien de mercurio. Se pasa á la parte superior del tubo en U, una cierta cantidad de aire y un poco de potasa en disolucion; en fin, se ponen en comunicacion, el mercurio de uno de los vasos con el disco de una máquina eléctrica, que se hace girar continuamente, y el mercurio del otro vaso con el suelo, mediante una cadenilla de hierro. Las chispas eléctricas que saltan sucesivamente en el aire del tubo, determinan la combinacion del azoe y del oxígeno; y cuando ha pasado gran número de estas chispas, la disolucion alcalina contiene una cierta cantidad de nitrato de potasa.

Fig. 178.



§ 440. Hemos dicho que se preparaba el ácido nítrico por medio de la destilacion del salitre con el ácido sulfúrico; y creemos útil detenernos en las circunstancias que presenta esta preparacion.

La potasa forma con el ácido sulfúrico dos combinaciones: una neutra y otra ácida. Esta última contiene dos veces mas ácido sulfúrico que la primera. La combinacion neutra es anhidra, y tiene por fórmula $KO.SO^3$; por el contrario, la combinacion ácida encierra una cierta cantidad de agua, que no suelta sino á temperaturas superiores á 200°: su formula es $KO.2SO^3+HO$, que se escribe así $\binom{KO.SO^3}{HO.SO^3}$; pues se la considera en este último caso como una sal doble, formada por la combinacion del sulfato neutro de potasa $KO.SO^3$ con el sulfato de agua $HO.SO^3$.

Si se añaden á 1 equivalente de salitre, $KO.AzO^5$, dos equivalentes de ácido sulfúrico monohidratado, $2(SO^3+HO)$, podrán formarse $\binom{KO.SO^3}{HO.SO^3}$, y AzO^5+HO, ó $HO.AzO^5$, es decir, bisulfato de potasa y ácido nítrico monohidratado; esto resultará en efecto, y bastará una simple destilacion para aislar este último ácido. Hé aquí las proporciones mas convenientes para el buen éxito de la operacion:

100 de nitrato de potasa	{ 46,61 de potasa,	
	{ 53,39 ácido nítrico,	
96,8 de ácido sulfúrico	{ 79,1 de ácido sulfúrico,	
	{ 17,7 de agua;	

que producirán 62,29 de ácido nítrico monohidratado.

Pero si se añade tan solo 1 equivalente de ácido sulfúrico concentrado, $HO.SO^3$, á 1 equivalente de nitrato de potasa, $KO.AzO^5$, la reaccion se complica notablemente: $\frac{1}{2}$ equivalente nada mas de

nitrato de potasa se descompone, y da $\frac{1}{2}$ equivalente de ácido nítrico monohidratado, $\frac{1}{2}(AzO^5 + HO)$, que pasa por destilacion, quedando en la retorta $\frac{1}{2}$ equivalente de sulfato ácido de potasa, $\frac{1}{2}\begin{pmatrix}KO.SO^3\\HO.SO^3\end{pmatrix}$, y $\frac{1}{2}$ equivalente de nitrato de potasa no descompuesto, $\frac{1}{2}(KO.AzO^5)$. Si se aumenta la temperatura, hay reaccion entre el sulfato ácido de potasa y el nitrato de potasa no descompuesto, formándose sulfato neutro de potasa, y quedando libre en consecuencia $\frac{1}{2}$ equivalente de ácido nítrico monohidratado; mas la temperatura á que se forma entónces el ácido monohidratado, es suficiente para descomponerlo, de suerte que solo se obtienen vapores rojos, y nada de ácido nítrico.

Se prepara en los laboratorios el ácido nítrico fumante, introduciendo en una retorta de vidrio partes iguales de nitrato de potasa y de ácido sulfúrico. Debe verterse el ácido con un embudo terminado por un tubo largo (fig. 179), á fin de que no salpique las paredes del cuello de la retorta, pues sin esta precaucion, se mezclaria un poco de ácido sulfúrico con el ácido nítrico durante la destilacion.

Fig. 179.



Fig. 180.

Se enchufa el cuello de la retorta en un matraz (fig. 180), que se refresca con una corriente continua de agua fria. No ha de haber en el aparato ningun tapon, porque el ácido nítrico concentrado ataca fuertamente al corcho, y aun este podria arder por el vapor que despide dicho ácido concentrado.

En los primeros momentos de la reaccion, se forman vapores rojos, que provienen de la descomposicion de las primeras porciones de ácido nítrico que quedan libres. Estas porciones de ácido nítrico llegan necesariamente á ponerse en contacto con una gran cantidad de ácido sulfúrico concentrado, que no ha ejercido todavia accion, y deberán por lo mismo descomponerse en vapores nitrosos y en

oxígeno. El ácido nítrico destila sin alteracion, si se gradúa convenientemente la accion del fuego. Se anuncia el término de la operacion por la presencia de vapores rojos abundantes, que llenan la retorta; es menester entónces suspender la destilacion, y sacar el producto condensado en el recipiente. Esta nueva aparicion de los vapores nitrosos se explica fácilmente: casi todo el nitrato de potasa ha sido ya descompuesto; y para que el ácido sulfúrico pueda actuar sobre las últimas porciones de esta sal, es necesario que la materia de la retorta adquiera una cierta fluidez, que no llega á tomar sino por una elevacion grande de temperatura: temperatura suficiente, en todos casos, para descomponer las últimas partes de ácido nítrico que han quedado en libertad.

El ácido nítrico obtenido no es puro, y está teñido de amarillo por el ácido nitroso disuelto; puede igualmente contener un poco de ácido sulfúrico arrastrado durante la destilacion. Para purificarlo, es menester incorporarle una pequeña cantidad de nitrato de plomo, reducido á polvo fino, agitar y despues destilar la mezcla en una retorta: se sacan aparte las primeras porciones que contienen el ácido nitroso; se muda de recipiente, y se recoge el ácido nítrico puro. Es bueno detener la operacion ántes que todo el ácido nítrico haya destilado, pues las últimas porciones pueden encerrar un poco de ácido nitroso, debido á que las paredes de la retorta, no encontrándose ya mojadas por el líquido, pueden calentarse hasta la temperatura que produce la descomposicion del ácido nítrico.

En las fábricas se reemplaza la retorta de vidrio por un cilindro de hierro colado (fig. 181 y 182), cerrado por dos fondos planos que se ajustan por medio de pernos. Se disponen dos de estos cilindros uno al lado del otro en un mismo horno, de manera que sus fondos correspondientes se encuentren sobre las paredes verticales del horno. El fondo anterior tiene hácia su parte superior un cañon *d* (fig. 182), al que se adapta una alargadera encorvada, que conduce los vapores á un primer bombon de barro con tres golletes. Estos bombones se encuentran colocados, en esta disposicion, uno al lado del otro, comunicando respectivamente con cada uno de los cilindros apareados; y ademas se comunican tambien, de dos en dos.


Fig. 181.

por medio de un tubo encorvado de barro, que reúne los segundos golletes. Los terceros corresponden con una serie de bombones de dos golletes, dispuestos unos á continuacion de otros.

Se cargan los cilindros con la cantidad conveniente de salitre, quitando el fondo posterior, y volviendo despues á fijarlo en su sitio.

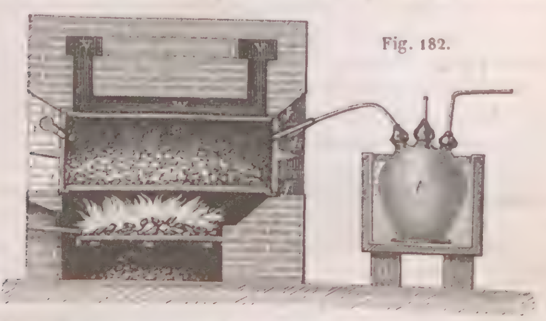


Fig. 182.

El ácido sulfúrico concentrado se vierte por un embudo de hierro colado (fig. 183), que se pone en el orificio *c* (fig. 182), practicado en la parte superior de este fondo; y en seguida se cierra la abertura con un tapon de arcilla cocida. Cuando los cilindros están cargados, se enlodan las junturas con arcilla, y se calienta lo mas regularmente posible. Terminada la operacion, se desclava el fondo posterior del cilindro, y se saca el sulfato de potasa por medio de garfios de hierro.

Fig. 183.

E

El ácido condensado en los primeros bombones es necesariamente el mas impuro; y contiene mucho ácido sulfúrico arrastrado en la destilacion. Este ácido impuro se emplea en la fabricacion del ácido sulfúrico, como veremos mas adelante. Los bombones siguientes encierran el ácido que se expende en el comercio. Este ácido se halla mas ó menos concentrado; contiene una cierta cantidad de ácido nitroso y frecuentemente un poco de cloro, que proviene del nitro empleado en esta fabricacion, el cual no es siempre muy puro y suele encerrar cloruros. Los últimos bombones contienen un ácido muy débil.

Estos recipientes no se ponen vacíos al principio de la operacion. Se coloca comunmente en los primeros la disolucion ácida muy dilatada que se encuentra en los últimos de la operacion precedente, y que adquiere así el grado de concentracion que se exige en el comercio. En los últimos bombones se pone agua pura a fin de condensar completamente los vapores nitrosos.

Puede utilizarse tambien para la fabricacion del ácido nítrico la reaccion que presenta la arcilla con el salitre : la arcilla está compuesta principalmente de ácido silícico y de alúmina ; y el salitre, de potasa y ácido nítrico ; el ácido silícico se apodera de la potasa para formar silicato de potasa, y el ácido nítrico libre se desprende, y se saca por destilacion. Este procedimiento que ha sido empleado casi exclusivamente en Europa durante mucho tiempo, se halla en uso todavía en España. La mezcla de arcilla y salitre se calienta en retortas de vidrio; y, como el consumo de estas retortas es considerable, se sitúan las fábricas de agua fuerte en las inmediaciones de las de vidrio, como sucede en Cadalso y Recuenco, aprovechando de este modo los cascos de las retortas que se rompen, para hacer inmediatamente otras nuevas. Se ha abandonado este procedimiento, y reemplazado por el que hemos descrito mas arriba, en todos los países en que el ácido sulfúrico se encuentra á precios cómodos.

§ 111. El ácido nítrico del comercio es suficientemente puro para la mayor parte de los usos del laboratorio. Sin embargo, algunas veces es indispensable emplear un ácido muy puro, por ejemplo, en las investigaciones analíticas ; y, puesto que el ácido del comercio suele contener cloro y ácido sulfúrico, será menester purificarlo ; para lo cual no habrá mas que añadirle una corta cantidad de nitrato de plata en disolucion concentrada, agitar la mezcla, y despues destilarla en una retorta de vidrio. El aparato que se emplea para esta destilacion es igual al que nos ha servido en la preparacion del ácido nítrico (fig. 180).

Siempre es bueno asegurarse de que el ácido nítrico que ha de servir para análisis, ó como reactivo, no contiene cloro ni ácido sulfúrico ; para lo cual bastará, despues de bien dilatado en agua, tratarle separadamente por el nitrato de plata y una sal soluble de barita : el líquido no debe enturbiarse en ninguno de los dos casos.

§ 112. *Análisis del ácido nítrico.* — Para determinar la cantidad de ácido nítrico real que contiene un ácido dilatado en agua, se procede de la manera siguiente : se pesan con mucha exactitud 10 gramos de este ácido en un matraz de $\frac{1}{5}$ de litro próximamente de cabida, y despues se añade una cierta cantidad de agua. Se pesan por separado, muy exactamente, 100 gramos de óxido de plomo bien seco y reducido á polvo fino, y se echa este óxido en el matraz. El óxido de plomo se combina con el ácido nítrico, y el agua queda libre. Basta ahora calentar el matraz para sacar completamente el agua por destilacion.

Esta operacion exige algunas precauciones : es necesario man-

tener inclinado el matraz, segun manifiesta la figura 184, á fin de que no haya proyeccion de materia fuera del vaso. Cuando esta parece seca, se la calienta todavía, y se introduce al mismo tiempo hasta cerca del centro del matraz un tubo de vidrio adaptado á la extremidad del cañon de un fuelle. Se sopla poco á poco, y la corriente de aire se lleva las últimas porciones del vapor de agua. Es menester tener cuidado de no calentar mucho el matraz, porque se correria el riesgo de descomponer el nitrato de plomo; si bien es fácil apercibirse de esta descomposicion por la presencia de los vapores rojos.

Fig. 184.



Enfriado el matraz, se le pesa, y, como se conoce el peso del matraz vacío, se calculará fácilmente el del óxido de plomo y el del ácido nítrico anhidro. P—100 será pues la cantidad de ácido nítrico anhidro, contenida en los 10 gramos de ácido dilatado.

Este procedimiento está fundado en que el óxido de plomo es una base anhidra, y en que el nitrato de plomo no retiene agua en combinacion. Es claro, por otra parte, que el óxido de plomo añadido debe exceder á la cantidad del mismo óxido necesaria para formar con el ácido nítrico empleado un nitrato neutro; pues de lo contrario el ácido nítrico no seria retenido totalmente, y una parte se desprenderia por volatilizacion.

§ 143. Se determina la composicion del ácido nítrico anhidro del modo siguiente:

Se empieza por averiguar cuál es el peso de ácido nítrico que se encierra en un peso conocido de nitrato neutro de plomo cristalizado. Para el efecto se pesan exactamente 10 gramos de óxido de plomo, y se echa por encima una cantidad de ácido nítrico tal, que despues de la trasformacion completa del óxido de plomo en nitrato, quede un exceso de ácido libre. Se evapora y se deseca completamente. Esta última operacion puede hacerse en un pequeño matraz de vidrio, del mismo modo que se ha ejecutado (§ 142) al determinar la cantidad de agua contenida en el ácido hidratado. El nitrato neutro de plomo queda solo, se le pesa, sea P su peso: P—10 será

el del ácido nítrico contenido en un peso P de nitrato neutro de plomo. Se encuentra así que 10 gramos de nitrato de plomo contienen

Oxido de plomo..................	6gr,738
Acido nítrico.....................	3gr,262
	10gr,000.

Se toma en seguida un tubo *ab* (fig. 185), de vidrio poco fusible, cerrado por un extremo, de 60 centímetros de largo por unos 12 milímetros de diámetro interior; se colocan en el fondo de este tubo 10 gramos poco mas ó menos de bicarbonato de sosa, y despues

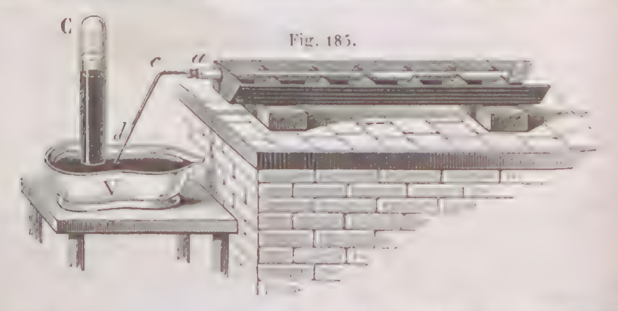


Fig. 185.

se introduce cobre metálico, hasta una longitud de algunos centímetros. Se pesan separadamente con mucha exactitud 10 gramos de nitrato de plomo, que se introducen en el tubo *ab*, inmediatamente encima de la capa de cobre metálico; y por último, se le acaba de llenar con virutas de cobre. Se adapta á la extremidad abierta *a*, con ayuda de un tapon de corcho, otro tubo encorvado *acd* que va á parar á una pequeña cuba de mercurio V, y se dispone el tubo *ab* en un hornillo de palastro que permita calentarle en toda su longitud.

El tubo *ab* está lleno de aire, que es menester echar del aparato. Para esto se aproximan algunas ascuas á la extremidad cerrada del tubo: el bicarbonato de sosa se desprende de una porcion de su ácido carbónico, que expele al aire, y le hace salir por medio del mercurio. Es fácil cerciorarse de que la expulsion del aire ha sido completa; y bastará recoger una cierta cantidad de gas en una campana, y ver si es absorbido completamente por una disolucion de potasa. Si la absorcion es completa, es evidente que no hay mas aire en el aparato, y que todo él ha sido reemplazado por el ácido carbónico.

Se quitan entónces las ascuas que calientan el bicarbonato de

sosa, y se va poniendo fuego al rededor de toda la parte anterior del tubo que contiene el cobre metálico, hasta darle un calor rojo; se aproximan en seguida algunos carbones encendidos hácia el paraje en que se encuentra el nitrato de plomo, á fin de que esta sal se descomponga lentamente; y se recoge el gas que se desprende, en una gran campana C, colocada sobre el mercurio, en la cual se ha introducido una cierta cantidad de disolucion concentrada de potasa. Los productos volátiles, que provienen de la descomposicion del nitrato de plomo, pasan por entre el cobre calentado, el cual les priva de todo su oxígeno, dejando en libertad al azoe, que pasa á la campana.

Cuando el nitrato de plomo es descompuesto completamente, el tubo queda lleno de azoe, que tambien debe hacerse pasar á la campana. Con este objeto, se calienta otra vez la extremidad *b* del tubo, que contiene todavía bicarbonato de sosa no descompuesto. Esta sal suelta aun mas ácido carbónico, el cual arrastra consigo al gas azoe del tubo, y al llegar á la campana es absorbido por la disolucion alcalina; de suerte que al fin del experimento, se tiene reunido en la campana todo el azoe que puede resultar de la descomposicion de 10 gramos de nitrato de plomo. Falta solamente medir con mucha exactitud el gas recogido. Para ello se le trasvasa, sobre la cuba de agua, á una campana graduada, y se mide con cuidado su volúmen saturado de vapor de agua, despues de haber enrasado el nivel del agua de la campana con el de la cuba. Sean:

V el número de centímetros cúbicos ocupados por el gas;

t su temperatura;

f la fuerza elástica del vapor de agua á t°;

H la altura del barómetro en el momento de la medicion del gas.

El número V_0 de centímetros cúbicos, ocupados por el gas á la temperatura de 0° y bajo la presion normal de $0^m,760$, será

$$V_0 = V.\frac{1}{1+0,00367.t}.\frac{H-f}{0,760}.$$

Si este volúmen fuese de aire, pesaria

$$V_0.0^{gr},001293,$$

pero, como es de gas azoe, cuyo peso es menor que el del aire en la relacion de $\frac{0,9713}{1,0000}$, se tendrá para el peso del azoe

$$p = V_0 0^{gr},001293.0,9713 = V_0.0^{gr},001256.$$

De este experimento se deduce, que 10 gramos de nitrato de

plomo, ó $3^{gr},262$ de ácido nítrico anhidro, contienen $0^{gr},845$ de azoe.

De aquí se concluye que 100 de ácido nítrico contienen

Azoe....................	25,93
Oxígeno..................	74,07
	100,00 ;

ó, en volúmen,

1	volúmen de azoe, que pesa............	0,9713
2 ½	» de oxígeno »...............	2,7640
	Que forman..................	3,7353.

En efecto, si se establece la proporcion

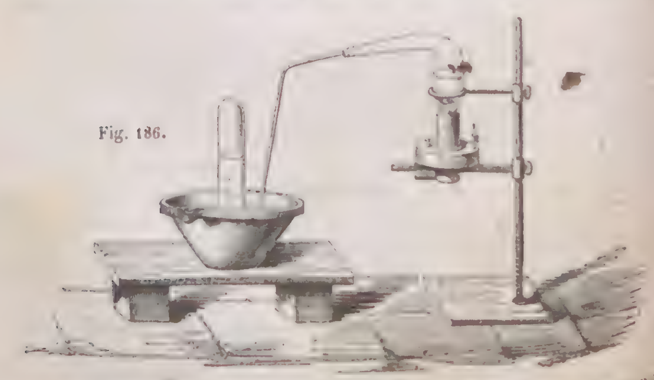
3,7353 de ácido nítrico : 0,9713 de azoe :: 100 de ácido nítrico : x.

se hallará $x = 25,99$, que es próximamente la proporcion de azoe que ha dado la experiencia para 100 partes de ácido nítrico.

Todas las demas combinaciones del azoe con el oxígeno se obtienen fácilmente por medio de la descomposicion del ácido nítrico en condiciones determinadas.

Protóxido de azoe, AzO.

§ 114. Cuando se ataca un metal por el ácido nítrico, se desprende protóxido ó deutóxido de azoe, segun la naturaleza del metal. El


Fig. 186.

zinc se disuelve en el ácido nítrico dilatado, y se desprende una mezcla de protóxido y deutóxido de azoe. Pero, si se deja algun tiempo esta mezcla gaseosa en contacto con limaduras de zinc ó de

hierro húmedo, el deutóxido de azoe se descompone, y se convierte en protóxido, cediendo al metal una porcion de su oxígeno.

Tenemos un medio mucho mas cómodo para preparar el protóxido de azoe. Se calienta el nitrato de amoniaco en una pequeña retorta de vidrio (fig. 186) provista de un tubo encorvado; la materia se funde desde luego, despues entra en ebullicion desprendiendo una cantidad grande de gas, que puede recogerse, sobre el mercurio ó el agua, y se condensa al mismo tiempo agua sobre las paredes de la retorta. Se calienta esta con algunas ascuas, ó con una lámpara de alcohol, cuya llama se gradúa de manera que el desprendimiento de gas no sea muy vivo. El nitrato de amoniaco disminuye sucesivamente, y á lo último desaparece del todo, convirtiéndose en protóxido de azoe y en agua. El nitrato de amoniaco tiene por fórmula $AzH^3HO.AzO^5$; por el calor se descompone en 2 equivalentes de protóxido de azoe, 2AzO, y 4 equivalentes de agua, 4HO. Se tiene en efecto,

$$AzH^3HO.AzO^5 = 2AzO + 4HO.$$

§ 115. El protóxido de azoe es un gas incoloro, sin olor ni sabor, y de una densidad igual á 1,527. Se liquida á 0° bajo una presion de 30 atmósferas poco mas ó menos. Un frio de 100° bajo cero le hace pasar al estado sólido.

El protóxido de azoe no se altera cuando se le pone en contacto del aire.

Un carbon encendido continúa ardiendo en este gas, y despide una luz muy viva, como si ardiese en el gas oxígeno. Una cerilla recien apagada que presente todavía algunos puntos en ignicion, se enciende al momento, cuando se la sumerge en el protóxido de azoe, y sigue ardiendo con una llama muy brillante. Esta propiedad que hemos presentado como característica del oxígeno, podria no obstante confundir este último gas con el protóxido de azoe.

El azufre inflamado débilmente, es decir, presentando solo algunos puntos en ignicion, se apaga cuando se le sumerge en un frasco lleno de protóxido de azoe; mas su combustion adquiere mucha mas vivacidad, si se halla inflamado en una superficie algo considerable.

El fósforo arde en el protóxido de azoe con una luz blanca muy brillante.

Se ve segun esto, que la combustion de los cuerpos es mas viva en el protóxido de azoe que en el aire atmosférico; y no sorprenderá esta circunstancia, si se atiende á que este gas encierra la mitad de

su volúmen de oxígeno, miéntras el aire atmosférico no contiene mas que su quinta parte. Pero en el aire atmosférico, el oxígeno y el azoe están solamente mezclados, al paso que en el protóxido de azoe se hallan combinados. Es menester, pues, que el cuerpo combustible se encuentre en condiciones tales, que le permitan destruir esta combinacion, y en general, para que continúe ardiendo en el protóxido de azoe, es preciso darle una temperatura mas elevada.

Hemos dicho que el aire atmosférico no alimenta la respiracion de los animales, sino en virtud del oxígeno que contiene. El fenómeno de la respiracion parece consistir esencialmente en una especie de combustion de las materias orgánicas por el oxígeno, combustion que da por producto ácido carbónico y vapor de agua. Las funciones esenciales de la respiracion pueden ejercerse en una atmósfera de protóxido de azoe, puesto que ciertos animales viven muchas horas en este gas. La combustion á que da orígen la respiracion es pues bastante enérgica para descomponer el protóxido de azoe; y sin embargo, una estancia prolongada del animal en este gas produce en su economía perturbaciones bastante graves para ocasionar la muerte.

El protóxido de azoe, respirado por el hombre, causa una especie de enajenacion acompañada, segun se dice, de sensaciones agradables. Esta propiedad se notó en los primeros tiempos del descubrimiento de este gas, y fué causa de que se le diera el nombre de *gas hilarante*. Importa mucho, cuando quiera hacerse esta experiencia, emplear el protóxido de azoe muy puro, pues contiene á menudo un poco de cloro que ataca vivamente los órganos de la respiracion. El cloro proviene de que el nitrato de amoniaco encierra algunas veces en corta cantidad clorhidrato de amoniaco.

Hemos dicho que el protóxido de azoe se liquida á la temperatura de 0°, y bajo una presion de 30 atmósferas. Llega á obtenerse una cantidad notable de protóxido de azoe líquido, comprimiendo este gas en un recipiente metálico de mucha resistencia, y rodeado de hielo, con el auxilio de una bomba impelente. Abriendo la llave del recipiente, despues de haberlo invertido, una porcion del líquido que sale vuelve á tomar su estado gaseoso, pero enfria de tal modo la porcion líquida restante, que esta, en vez de volatilizarse, pasa en parte al estado solido, formando copos blancos como la nieve. La parte líquida puede recogerse en un tubo, y conservarse en este estado mas de media hora.

Introduciendo un metal en este líquido, produce un ruido semejante al que ocasiona un hierro hecho ascua, cuando se le

sumerge en el agua. El mercurio causa el mismo efecto, y se congela prontamente formando un metal que se parece á la plata en sus propiedades físicas. El potasio, que descompone con facilidad al protóxido de azoe gaseoso mediante la accion del calor, no sufre alteracion ninguna en contacto del protóxido líquido. El carbon, el azufre, el fósforo y iodo se hallan en el mismo caso. El protóxido de azoe líquido á la presion ordinaria de la atmósfera presenta una temperatura muy baja, que puede valuarse en —100°. Desciende todavía hasta una temperatura inferior, cuando se le coloca debajo del recipiente de la máquina neumática, y se hace rápidamente el vacío: parte de él se congela en este caso formando una masa blanca como de nieve. Si se introduce en el protóxido que se evapora en el vacío de la máquina neumática, un pequeño tubo cerrado á la lámpara que contenga un poco de protóxido líquido, este se congela y forma una masa sólida, incolora y de una trasparencia perfecta.

§ 116. El análisis del protóxido de azoe se ejecuta con facilidad de la manera siguiente:

Se mide con exactitud en una campana graduada, colocada sobre el mercurio, un volúmen determinado de protóxido de azoe, y se trasvasa este gas á otra campana encorvada de la forma que representa la figura 187. Se pasa en seguida á la parte encorvada un fragmento de potasio, fijo á la extremidad de un grueso alambre de hierro, y despues se calienta por medio de una lámpara de alcohol. El potasio arde desprendiendo luz, pues se combina con el oxígeno del protóxido, y el azoe queda en libertad. Es necesario al hacer este experimento, sujetar la campana con la mano en el momento de la reaccion, á fin de que no pueda escaparse, y aun ser arrojada fuera de la cuba. Cuando la campana ha vuelto á tomar la temperatura del aire ambiente, se trasvasa el gas contenido en ella á la campana graduada; se mide otra vez su volumen, y se notará que no ha tenido alteracion ninguna respecto del primitivo. El protóxido de azoe encerrará, pues, un volumen igual al suyo de gas azoe.

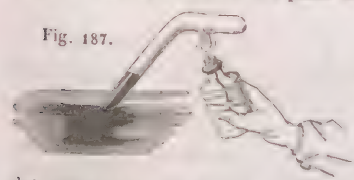


Fig. 187.

Si se resta del peso de un volúmen 1 de protóxido de azoe ó de la densidad de este gas.	=1,527
el peso de un volúmen 1 de azoe o su densidad.	=0,972
queda.	0,555.

que es con corta diferencia igual á $\frac{1,1056}{2}=0,5528$, ó á la mitad de la densidad del gas oxígeno.

Por consiguiente 1 volúmen de gas protóxido de azoe contendrá

1 volúmen	de azoe..........	0,972
$\frac{1}{2}$ »	de oxígeno........	0,552
		1,524.

Si se estable la proporcion

$$1,524 : 0,972 :: 100 : x,$$

x será el peso del azoe contenido en 100 partes en peso de protóxido de azoe; y se tiene así:

Azoe......................	63,77
Oxígeno..................	36,23
	100,00.

§ 147. El análisis del protóxido de azoe puede hacerse igualmente en el eudiómetro, valiéndose del gas hidrógeno. Supongamos que se hayan introducido en el eudiómetro

	100	divisiones de protóxido de azoe
	150	» de gas hidrógeno
Total...	250.	

Hagamos pasar la chispa eléctrica, y midamos nuevamente el volúmen de gas: encontraremos que se ha reducido á 150 divisiones, faltando 100 que han desaparecido. Si el azoe y el oxígeno se hallasen solamente mezclados, en vez de estar combinados con condensacion, podríamos deducir la composicion del gas por la merma que ha tenido su volúmen, como ya lo hemos hecho en el análisis del aire atmosférico. Pero dicho método no es aplicable á este caso: y es menester determinar directamente la cantidad de hidrógeno que ha sido quemado por el oxígeno del protoxido. Si pudieramos saber cuál es el volúmen de hidrógeno que queda en nuestras 150 divisiones de gas, despues de la explosion, dicha cantidad seria conocida. Para determinar este volúmen, introduciremos en el eudiometro 50 divisiones de gas oxígeno, que formarán en todo 200, y haremos pasar la chispa eléctrica. Despues de la explosion, no quedarán mas que 125 divisiones de gas: ha habido pues una merma de 75, que estarán compuestas de hidrogeno y oxigeno en las proporciones que constituyen el agua, es decir, de 50 de hidrogeno y 25 de oxígeno.

Así, en las 150 partes de gas que nos quedaban despues de la primera chispa eléctrica, habia 50 partes de hidrógeno, y por consiguiente 100 de azoe. Ahora bien, hemos puesto al principio 150 partes de hidrógeno, de las cuales encontramos al fin 50 nada mas; ha habido pues 100 partes quemadas por el oxígeno del protóxido de azoe. 100 partes de este gas contienen, segun esto,

100 partes de azoe
50 » de oxígeno.

Deutóxido de azoe, AzO^2.

§ 118. Se obtiene este compuesto disolviendo los metales en el ácido nítrico dilatado convenientemente, y se eligen por lo comun para este objeto el cobre ó el mercurio. El cobre da deutóxido de azoe puro, siempre que se impida que la temperatura aumente mucho durante la reaccion, y se emplee ácido suficientemente debilitado.

La operacion se ejecuta en un aparato semejante al que nos ha servido para la preparacion del gas hidrógeno. Se coloca el cobre en forma de virutas, ó en pedazos que presenten mucha superficie, en el fondo de un frasco A de dos bocas (fig. 188); y se echa por encima un poco de agua, la suficiente nada mas para cubrir el metal. Se ajusta á una de las bocas *a* un tubo abductor, y á la otra *b* un tubo recto con embudo que sirve de tubo de seguridad, y tambien para verter el ácido nítrico sucesivamente y en pequeñas porciones. El gas puede recogerse sobre el agua ó el mercurio. El agua disuelve $\frac{1}{20}$ de su volúmen.

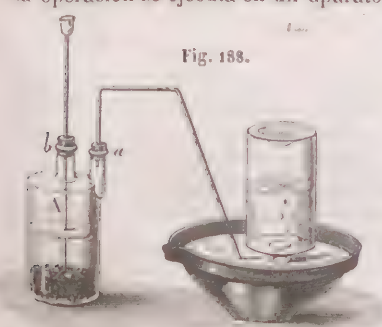


Fig. 188.

Se obtiene deutóxido de azoe muy puro calentando el nitrato de potasa, $KO.AzO^5$, juntamente con una disolucion de protocloruro de hierro, $FeCl$, que tenga un exceso de ácido clorhídrico

$$6FeCl + KO.AzO^5 + 4HCl = AzO^2 + 3(Fe^2Cl^3) + KCl + 4HO.$$

Para hacer esta preparacion, se toman dos volúmenes iguales de ácido clorhídrico: se calienta el uno con limaduras de hierro para

trasformarlo en protocloruro de hierro, que en seguida se incorpora con el otro volúmen que se ha reservado; y por esta mezcla se trata despues el nitrato de potasa.

§ 149. El deutóxido de azoe es un gas incoloro, que ha resistido hasta el dia, sin liquidarse, á las mas fuertes presiones. Su densidad es 1,039. Da inmediatamente vapores rojos, cuando se le mezcla con el aire; absorbiendo oxígeno en este caso y trasformándose en ácido hiponítrico: estos vapores presentan una reaccion sumamente ácida.

El deutóxido de azoe no posee reaccion ácida por sí mismo; y lo demuestra el siguiente experimento: se recoge en una campana sobre el mercurio, deutóxido de azoe, y se introduce en ella tintura de tornasol, la cual conserva su color azul; pero en cuanto pasan á su interior algunas burbujas de oxígeno, la tintura se enrojece inmediatamente.

Una cerilla ó pajuela que presente algunos puntos en ignicion no se inflama, cuando se la sumerge en una campana llena de deutóxido de azoe, al paso que en igual circunstancia un carbon bien encendido continúa ardiendo con mucho brillo.

El fósforo puede ser fundido sin inflamarse en el deutóxido de azoe, miéntras que en el mismo caso se inflama siempre en el aire. Pero el fósforo inflamado continúa ardiendo en el deutoxido de azoe con una luz mucho mas viva que en el aire; y esta luz es comparable á la que produce su combustion en el oxígeno.

El azufre inflamado se apaga en el deutóxido de azoe.

Se ve segun esto que el deutóxido de azoe se porta como un cuerpo menos comburente que el protóxido; y sin embargo, para la misma cantidad de azoe, contiene dos veces mas oxígeno que este último. Esto prueba que el azoe y el oxígeno se hallan combinados con mucha mas fuerza en el deutóxido de azoe que en el protóxido, puesto que son menester afinidades mas enérgicas para efectuar su descomposicion.

El deutóxido de azoe es absorbido por una disolucion de sulfato de protóxido de hierro, que toma un color pardo oscuro, y esta reaccion puede emplearse para separar el protóxido de azoe del deutóxido.

El deutóxido de azoe se disuelve abundantemente en el ácido nítrico concentrado, pero hay en este caso descomposicion recíproca: el deutóxido quita una porcion del oxígeno al ácido nítrico, y las dos sustancias pasan al estado de ácido hiponítrico. El líquido toma un color pardo mas y mas intenso á medida que se forma mayor cantidad de ácido hiponítrico.

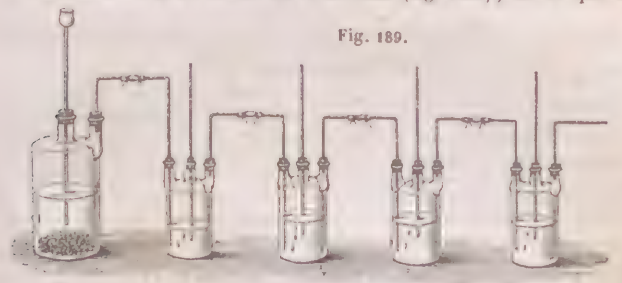
Cuanto mas dilatado se encuentra el ácido nítrico es tanto mas

estable, y se descompone una cantidad menor de ácido; de modo que si se halla muy *extendido en agua*, ó muy *diluido*, ya no es descompuesto por el deutóxido de azoe.

Estas disoluciones de ácido hiponítrico en el ácido nítrico mas ó menos concentrado presentan colores muy variables. Con el ácido nítrico monohidratado se tiene un líquido pardo; con un ácido un poco mas diluido, resulta una disolucion amarilla. El ácido que tenga una densidad de 1,35 toma un color verde; el de una densidad 1,25, se vuelve azul claro, y por último, el ácido de una densidad inferior á 1,15 no se tiñe ya.

Este experimento se dispone ordinariamente como vamos á indicar: Se adapta á un gran frasco de dos bocas (fig. 189), en el que se

Fig. 189.



produzca deutóxido de azoe, una serie de frascos de tres bocas dispuestos como manifiesta la figura. Un aparato de esta especie se llama *aparato de Woolf**. En los dos primeros frascos se pone ácido

* Adaptamos con frecuencia á nuestros aparatos de química tubos dispuestos de una manera particular, que se llaman *tubos de seguridad*. Su objeto es evitar las explosiones de los aparatos, é impedir que lleguen á mezclarse los líquidos contenidos en los diversos vasos que los componen. Vamos á dar la teoría de estos tubos.

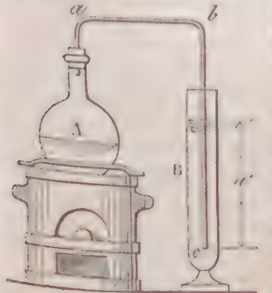


Fig. 190.

Teoría de los tubos de seguridad. — Supongamos un gran matraz A (fig. 190), en el que se produzca un desprendimiento de gas cloro mediante la reaccion del ácido clorhídrico sobre el peróxido de manganeso; y una probeta B llena de una disolucion de potasa, que queremos someter á la accion del cloro, con el cual tiene aquella grande afinidad. Para el efecto, dirigiremos el cloro por el tubo de desprendimiento *abc* hasta el fondo de la probeta B. Interin este gas se desprenda abundantemente del matraz A, la operacion marchará con regularidad, y las burbujas atravesarán la disolucion de potasa. La fuerza elástica del gas, en el vaso A,

nítrico que tenga el máximo de concentracion; en el tercero ácido nítrico un poco mas dilatado, y de una densidad igual á 1,45; en

se equilibrará con la presion de la atmósfera exterior, que se ejerce sobre el nivel de la disolucion de potasa, aumentada con la presion equivalente á una columna de disolucion de potasa que tenga por altura la distancia entre el nivel del líquido, en la probeta, y la extremidad c del tubo de desprendimiento. Se mide la presion de la atmósfera exterior por la altura H de una columna de mercurio que la equilibre; ó en otros términos, por la altura del mercurio en el barómetro. La presion debida á la columna a' de disolucion de potasa puede representarse por la columna de mercurio que produzca una presion equivalente. Si designamos por x la altura de esta columna de mercurio, por d' y δ las densidades, con respecto al agua, de la disolucion de potasa y de mercurio, tendremos evidentemente

$$x\delta = a'd', \quad \text{de donde} \quad x = a'\frac{d'}{\delta}.$$

La fuerza elástica del gas en el interior del matraz estará pues representada por una columna de mercurio que tenga por altura $H + a'\frac{d'}{\delta}$.

Supongamos que el desprendimiento de gas cloro cese en el matraz A, ya por haberse agotado la cantidad de ácido nítrico que hemos puesto, ya por haberse enfriado considerablemente el vaso. La disolucion de potasa contenida en el tubo de desprendimiento bc, continuará absorbiendo el cloro encerrado en el matraz A; la fuerza elástica de este gas irá por consiguiente disminuyendo en el aparato, y la presion constante de la atmósfera, que se ejerce sobre la superficie del líquido de la probeta, le forzará á elevarse por el tubo de desprendimiento bc. Si el experimentador está presente, puede salvar la operacion destapando rápidamente el matraz A; pero, si se halla ausente, la disolucion de potasa no tardará en elevarse hasta el vértice del tubo de desprendimiento, y, continuando la absorcion del cloro por la potasa, la mayor parte de esta disolucion podrá pasar al vaso A. Se dice entónces que ha habido *absorcion*, y la operacion queda perdida.

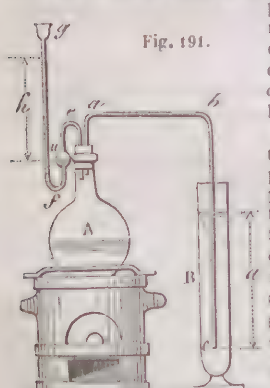


Fig. 191.

Se evita un accidente de tal naturaleza, adaptando al cuello del matraz A, por el mismo tapon, un tubo encorvado efg, que lleve una bola u, y tenga la forma representada en la figura 191; forma que ha motivado el nombre de *tubo en S*. Se echa en este tubo una pequeña cantidad del líquido que ejerce la reaccion química dentro del matraz A, y que en el experimento actual será el ácido clorhídrico. Cuando la operacion marche regularmente, y los gases se desprendan por la extremidad c del tubo, la fuerza elástica del gas interior estará representada por $H + a'\frac{d'}{\delta}$. El ácido clorhídrico se elevará por consiguiente en la rama fg del tubo en S, hasta que la columna levantada encima del nivel del líquido en la bola u, y cuya altura representaremos por h, se equilibre con la fuerza elástica $H + a'\frac{d'}{\delta}$, disminuida en la presion H de la atmósfera; pues esta última presion se ejerce igualmente sobre el extremo superior de la columna h. Si d representa la densidad del ácido clorhídrico con relacion al agua, una columna de mercurio que

el cuarto, ácido de 1,35; en el quinto, ácido de 1,25; y en fin en el sexto, ácido de 1,40.

ejerciera la misma presion que la columna h de ácido clorhídrico, vendria expresada por $h\frac{d}{\delta}$. Se tendrá pues

$$h\frac{d}{\delta}=a'\frac{d'}{\delta}, \quad \text{de donde} \quad h=a'\frac{d'}{d}.$$

Supongamos ahora que cese el desprendimiento de gas, y que á consecuencia de la absorcion del cloro por la disolucion de potasa, la fuerza elástica en el matraz A llegue á ser menor que la de la atmósfera: vamos á ver que, si las diversas partes del aparato tienen las dimensiones convenientes, no podrá temerse que la disolucion de potasa produzca una nueva absorcion en el matraz A. En efecto, conforme la fuerza elástica del gas en el matraz vaya siendo inferior á la de la atmósfera, la disolucion de potasa subirá por el tubo *bc*; pero al mismo tiempo el ácido clorhídrico bajará en la rama *fg* del tubo en S. Si este líquido gana el punto mas bajo *f*, ántes que la disolucion de potasa alcance el vértice *b* del tubo de desprendimiento, es claro que el aire atmosférico volverá á entrar por el tubo en S, é impedirá que la fuerza elástica interior llegue á ser mas débil. La absorcion será ya imposible, y la operacion podrá marchar nuevamente añadiendo ácido clorhídrico, ó aumentando la temperatura del matraz.

La bola *u* del tubo en S tiene por objeto evitar, por su gran capacidad relativa, que el nivel del líquido se eleve mucho en la rama *fe*, por causa de la introduccion en esta del líquido contenido anteriormente en la *fg*: el aire se introducirá pues en el aparato, cuando la fuerza elástica interior venga á ser muy poco inferior á la de la atmósfera.

Esta bola es útil tambien, porque contiene la cantidad de líquido necesaria para llenar completamente la rama *fg*, cuando la fuerza elástica del gas interior llega á ser muy superior á la de la atmósfera. Por otra parte esta fuerza elástica no puede aumentar indefinidamente, ni exceder á la presion atmosférica en una cantidad mayor que la necesaria para equilibrar á la columna líquida que puede contener la rama *fg*; pues de lo contrario esta columna seria arrojada fuera del tubo, y el gas interior comunicaria libremente con la atmósfera.

Esta última circunstancia se presenta á menudo en el experimento que nos ocupa. El tubo *bc* se obstruye con frecuencia por el depósito de materias cristalizadas que se forman en virtud de la reaccion del cloro sobre la potasa. La fuerza elástica del gas que sigue desprendiéndose en el matraz A, aumenta continuamente, siempre que el gas no encuentre otra salida, como sucede en el aparato de la figura 190; y no tardaria dicha fuerza en adquirir una energía bastante considerable para hacer que estallase el aparato.

Con la disposicion del tubo en S no hay que temer este riesgo, y con fundado motivo se le ha dado el nombre de *tubo de seguridad*.

El tubo en S presenta aun otra ventaja; y es la de poder añadir sucesivamente y á proporcion que haga falta el ácido clorhídrico necesario á la reaccion, sin tener que destapar el matraz.

Cuando el vaso en que se produce el gas es una retorta de una sola abertura, se emplea un tubo de desprendimiento que lleve soldado otro tubo en S, dispuesto como manifiesta la figura 192; el cual no sirve en este caso sino como tubo de seguridad y para evitar al mismo tiempo la absorcion, no pudiendo ya ser utilizado para introducir los líquidos necesarios á la reaccion. Un tubo de esta forma se llama *tubo de Welter*, del nombre del químico que lo ha imaginado. Puede ponerse en el tubo en S un líquido cualquiera que no ejerza accion química sobre el gas.

Si el vaso empleado para la reaccion química es un frasco bitubulado (fig. 193),

El líquido del primer frasco se tiñe desde luego, pero como el deutóxido de azoe arrastra constantemente una cierta cantidad de

como el que ha servido en la preparacion del gas hidrógeno ó en la del deutóxido de azoe, se usa solamente como tubo de seguridad un tubo recto con embudo é introducido hasta un poco mas abajo del nivel del líquido.

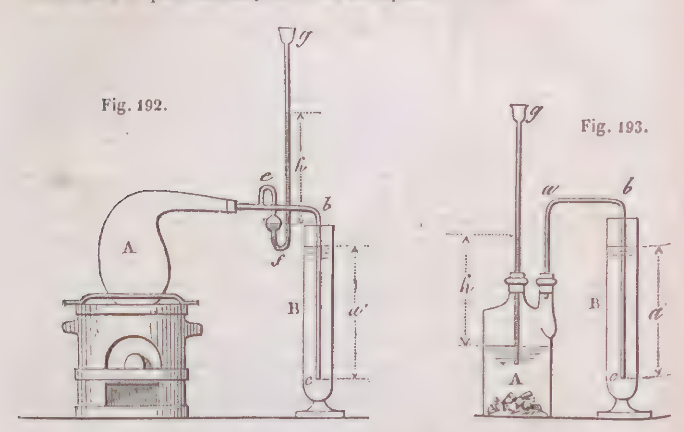


Fig. 192.

Fig. 193.

Supongamos ahora que se quiera hacer pasar sucesivamente un mismo gas por una serie de frascos que contengan disoluciones, diferentes ó idénticas, que puedan absorberlo. Se empleará la disposicion que representa la figura 194, en

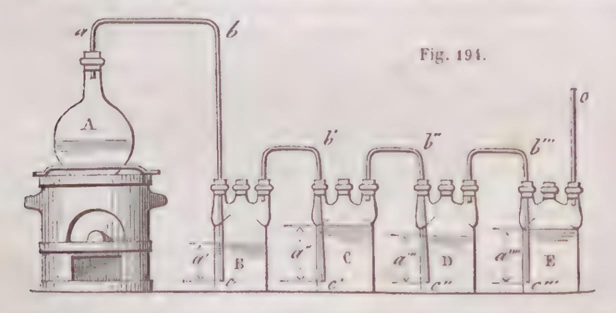


Fig. 194.

la cual A es el matraz donde se produce el cloro, y los frascos de tres bocas B, C, D, E contienen las disoluciones que han de absorber este gas. Supongamos que el desprendimiento del cloro sea tal, que las burbujas de gas atraviesen los líquidos de los cuatro frascos; y averigüemos cuál será la fuerza elástica del gas en cada uno de estos frascos.

La presion de la atmósfera se ejerce libremente, por el tubo o abierto en sus dos extremos, sobre la superficie del líquido contenido en el frasco E. El gas del

agua, que se condensa en este primer frasco, el ácido contenido en él cambia sucesivamente de color. El del segundo frasco toma un

frasco E tiene pues una fuerza elástica igual á la de la atmósfera exterior, que suponemos representada por una columna H de mercurio.

En el frasco D, la presion que se ejerce sobre la superficie del líquido es igual á la presion H que existe en el frasco E, aumentada con una columna de mercurio que equilibre á la columna a'''' del líquido E, que el gas debe deprimir en el tubo de desprendimiento para salir por el orificio c''''. Si d'''' representa la densidad, con respecto al agua, del líquido E, la columna de mercurio que se equilibrase con la columna a'''' del líquido E estaria representada por $a''''\frac{d''''}{\delta}$. La fuerza elástica del gas en el frasco D se hallará segun esto expresada por

$$H + a''''\frac{d''''}{\delta}.$$

En el frasco C, la presion que sufre la superficie del líquido es igual á la presion $H + a''''\frac{d''''}{\delta}$ del gas en el frasco D, aumentada con la columna de mercurio equivalente á la a''' del líquido D, que el gas debe deprimir para pasar del frasco C al frasco D. Esta columna de mercurio será expresada por $a'''\frac{d'''}{\delta}$, si d''' representa la densidad, respecto al agua, del líquido D. La fuerza elástica del gas en el frasco C será pues

$$H + a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta}.$$

La presion que se ejerce sobre la superficie del líquido del frasco B es igual á la presion $H + a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta}$ del gas en el frasco C, aumentada con la columna de mercurio que equilibra á la columna a'' del líquido C. Esta columna de mercurio estará representada por $a''\frac{d''}{\delta}$, si d'' expresa la densidad, con relacion al agua, del líquido C. La fuerza elástica de la atmósfera del frasco B se hallará segun esto representada por

$$H + a''\frac{d''}{\delta} + a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta}.$$

En fin, la fuerza elástica del gas en el frasco A será igual á la fuerza elástica en el frasco B, es decir, á $H + a''\frac{d''}{\delta} + a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta}$, aumentada con una columna de mercurio que tuviera en equilibrio á la columna a' del líquido B. Esta columna de mercurio estará expresada por $a'\frac{d'}{\delta}$, siendo a' la densidad, con relacion al agua, del líquido B. La fuerza elástica del gas en el matraz A se hallará pues representada por

$$H + a'\frac{d'}{\delta} + a''\frac{d''}{\delta} + a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta}.$$

color pardo; el del tercero se pone amarillo; el del cuarto, verde; el del quinto, azul, y finalmente en el sexto, el líquido subsiste incoloro.

Así, verificándose libremente el desprendimiento del gas por entre los líquidos de los frascos B, C, D y E, tendremos para las fuerzas elásticas del gas:

En el frasco E.................	H
» » D.................	$H + a'''' \frac{d''''}{\delta}$
» » C.................	$H + a''' \frac{d'''}{\delta} + a'''' \frac{d''''}{\delta}$
» » B.................	$H + a'' \frac{d''}{\delta} + a''' \frac{d'''}{\delta} + a'''' \frac{d''''}{\delta}$
En el matraz A.................	$H + a' \frac{d'}{\delta} + a'' \frac{d''}{\delta} + a''' \frac{d'''}{\delta} + a'''' \frac{d''''}{\delta}$.

Supongamos ahora que el desprendimiento de gas llegue á pararse en el vaso A, durante la ausencia del que dirige la operacion. Es claro que continuando la absorcion en los frascos B, C, D, E, el líquido del frasco B pasará al matraz A, el líquido de C vendrá á B, el de D irá á C; por último, el líquido del frasco E entrará en el D, y por consiguiente toda la operacion quedará perdida.

Si por el contrario, en virtud de las mismas reacciones químicas, uno cualquiera de los tubos de desprendimiento bc, $b'c'$, $b''c''$, $b'''c'''$ llega á obstruirse, la fuerza elástica del gas aumentará indefinidamente en el aparato, y uno de los vasos, el que se encuentre delante del tubo obstruido, podrá saltar con explosion. En general el matraz A será el que estallará probablemente, atendida su menor resistencia.

Estos riesgos podrán evitarse en un todo, dando al aparato la disposicion de la figura 195, es decir, adaptando sobre el matraz A un tubo de seguridad en S, y colocando al gollete central de cada uno de los frascos tubos de seguridad rectos s', s'', s''', s'''', que se sumerjan un poco en los líquidos. Es claro que por este medio no abrá ya peligro de explosion; pues si los gases exteriores llegasen á adquirir fuerzas elásticas considerables, proyectarian los líquidos fuera de los tubos de seguridad, y los gases tendrian al instante comunicacion libre con la atmósfera.

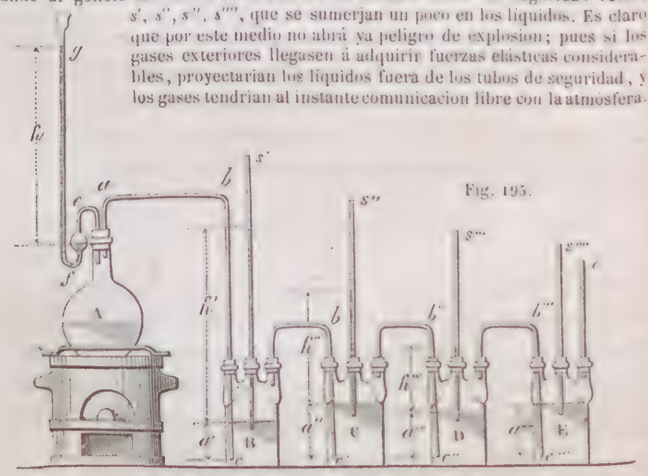


Fig. 195.

Tampoco podrá haber absorcion en este caso, pues si la fuerza elástica en uno

§ 120. El análisis del deutóxido de azoe se hace por medio del potasio en una campana curva, de la misma manera que el del protóxido de azoe. Despues de la descomposicion se encuentra que el volúmen del gas se ha reducido á la mitad. Así un volúmen 1 de deutóxido contiene $\frac{1}{2}$ volúmen de azoe.

cualquiera de los frascos viene á ser menor que la de la atmósfera exterior, en una cantidad igual á la que se equilibra con la corta columna de líquido comprendida entre el nivel de este en el frasco y la extremidad inferior del tubo de seguridad, el aire atmosférico penetrará en el frasco por este tubo, é impedirá que la fuerza elástica interior llegue á ser mas débil. Los líquidos no podrán pues elevarse sino á muy poca altura por los tubos de desprendimiento, y no habrá absorcion de líquido de un frasco á otro.

Las alturas h, h', h'', h''', á que se elevan los líquidos por los tubos de seguridad se calculan fácilmente.

La columna h'' de líquido, que se eleva en el tubo de seguridad del frasco D, equivalente á una columna de mercurio que tenga por altura $h'''\frac{d'''}{\delta}$, se equilibra con la fuerza elástica del gas en el frasco D, que se halla representada por $H + a''''\frac{d''''}{\delta}$, disminuida en la presion H de la atmósfera exterior, que se ejerce tambien sobre la extremidad superior de la columna h''': se tendrá pues,

$$h'''\frac{d'''}{\delta} = a''''\frac{d''''}{\delta}, \quad \text{de donde} \quad h''' = a''''\frac{d''''}{d'''}.$$

La columna h'' de líquido, levantada en el tubo de seguridad del frasco C, equivalente á una columna de mercurio que tenga por altura $h''\frac{d''}{\delta}$, equilibra la fuerza elástica del gas en el frasco C, disminuida en la presion de la atmósfera exterior Se obtendrá así

$$h''\frac{d''}{\delta} = a'''\frac{d'''}{\delta} + a''''\frac{d''''}{\delta};$$

$$\text{de donde} \quad h'' = a'''\frac{d'''}{d''} + a''''\frac{d''''}{d''}.$$

Se veria, siguiendo el mismo raciocinio, que la altura h' del líquido en el tubo de seguridad del frasco B, vendria expresada por

$$h' = a''\frac{d''}{d'} + a'''\frac{d'''}{d'} + a''''\frac{d''''}{d'}.$$

Por último la altura h, que representa el desnivel del líquido en las dos ramas del tubo en S adaptado al matraz A, será, llamando d la densidad, con respecto al agua, de la disolucion de ácido clorhídrico,

$$h = a'\frac{d'}{d} + a''\frac{d''}{d} + a'''\frac{d'''}{d} + a''''\frac{d''''}{d}.$$

Es evidente que los tubos de seguridad, dispuestos sobre los frascos, deberán ser tanto mas largos cuanto mas próximos se hallen al vaso A en que se produce el gas.

El aparato de la figura 195 se llama *aparato de Woolf*.

Restando de la densidad del deutóxido.............. =1,039
la semi-densidad del gas azoe $\frac{0,972}{2}$................... =0,486

queda.................................... 0,553

que es con muy corta diferencia la semi-densidad $\frac{1.1056}{2}$ del gas oxígeno.

1 volúmen de deutóxido de azoe contiene pues

$\frac{1}{2}$ vol. de azoe..............	0,486
$\frac{1}{2}$ » de oxígeno............	0,552
	1,038

sin condensacion, y su composicion en peso es

Azoe.......................	46,66
Oxígeno....................	53,34
	100,00.

Puede igualmente hacerse el análisis de este gas por medio del hidrógeno en el eudiómetro, siguiendo el mismo método que se ha descrito (§ 117) para el gas protóxido de azoe.

Acido nitroso, AzO^3.

§ 121. Es difícil obtener el ácido nitroso perfectamente puro. Su preparacion puede hacerse por medio del compuesto siguiente, ó sea del ácido hiponítrico, que puede considerarse como una combinacion del ácido nítrico con el ácido nitroso, $AzO^5 + AzO^3$. Se añade al ácido hiponítrico, enfriado en un tubo de vidrio, una cantidad de agua igual á la que daria orígen, con el ácido nítrico, al hidrato $AzO^5 + 4HO$. El líquido se divide en dos capas: la capa inferior, formada de ácido nitroso, tiene un color azul subido; la capa superior lo tiene verde, y consiste en una disolucion de ácido nitroso en el segundo hidrato de ácido nítrico $AzO^5 + 4HO$. El ácido nitroso es en extremo volátil, pues hierve á 0°; si bien no es posible destilarlo sin alteracion, porque se convierte fácilmente en deutóxido de azoe que se desprende, y en ácido hiponítrico que queda en el vaso. Si se calienta pues muy suavemente la capa inferior de ácido nitroso en una retorta, se desprende mucho deutóxido de azoe, el cual arrastra un poco de ácido nitroso no descompuesto, que puede condensarse en un recipiente enfriado hasta una temperatura muy baja: la de la retorta se eleva sucesivamente desde 0° hasta 28°. El líquido que queda ahora en la retorta es ácido hiponítrico puro.

Se obtiene igualmente el ácido nitroso aislado, haciendo pasar por un tubo en U, enfriado por una mezcla frigorífica, una corriente de gas compuesto de 4 volúmenes de deutóxido de azoe y 1 volúmen de oxígeno, que salgan de gasómetros convenientemente graduados. La mezcla frigorífica debe hacerse con hielo machacado y cloruro de calcio cristalizado, que produce una temperatura de —40°. Se condensa un líquido azul en el tubo enfriado. Si el oxígeno se hallase en mayor proporcion, se formaria ácido hiponítrico; pero aun con las proporciones indicadas de los dos gases, resulta siempre una cantidad considerable de este último compuesto.

El ácido nitroso suele producirse tambien por la reaccion del ácido nítrico sobre las materias orgánicas, tales como el almidon; aunque en este caso se le obtiene siempre mezclado con mucho ácido hiponítrico.

El ácido nitroso se mezcla con el agua muy fria, pero tan luego como la temperatura se eleva un poco se descompone, desprendiéndose deutóxido de azoe, y quedando en el agua ácido nítrico.

El ácido nitroso puede obtenerse muy fácilmente combinado con las bases. Cuando se calienta con precaucion nitrato de potasa en una retorta de vidrio muy poco fusible, se advierte que en el primer período de la descomposicion, solo se desprende oxígeno; pero si la temperatura es mas elevada, se desprende tambien una mezcla de oxígeno y azoe. Durante el primer período de la descomposicion, el nitrato de potasa, $KO.AzO^5$, se convierte en nitrito de potasa $KO.AzO^3$; de suerte que, deteniendo la descomposicion en el momento mismo que el gas que se desprende encierre azoe, la materia que queda en la retorta estará formada principalmente de nitrito de potasa. Se trata esta materia por el alcohol, que disuelve el nitrito de potasa, y deja el nitrato no descompuesto. Vertiendo en la disolucion de nitrito de potasa, otra de nitrato de plata, se obtiene un precipitado blanco de nitrito de plata.

§ 122. La composicion del ácido nitroso puede deducirse del análisis del nitrito de plata, que tiene por fórmula $AgO.AzO^3$. Se calcinan 10 gramos de nitrito de plata, que dejan por residuo $7^{gr},013$ de plata metálica. Ahora bien, $7^{gr},013$ de plata corresponden á $7^{gr},532$ de óxido de plata, que existian en el nitrito; luego el peso del ácido nitroso contenido en 10 gramos de nitrito de plata sera $2^{gr},468$.

En otra operacion separada se descomponen 10 gramos de nitrito de plata por el cobre metálico, en un tubo de vidrio, procediendo exactamente como lo hemos dicho para el análisis del nitrato de plomo (§ 113), y se recoge el azoe que se desprende.

Se deduce de los resultados anteriores que $2^{gr},468$ de ácido nitroso contienen

Azoe..................	0,910
Oxígeno...............	1,558
	2,468;

y de consiguiente 100 de ácido nitroso contienen

Azoe..................	36,84
Oxígeno...............	63,16
	100,00;

de donde resultan :

1 volúmen de azoe.......	0,9713
$1\frac{1}{2}$ » de oxígeno....	1,6584
	2,6297;

pues si establecemos la proporcion

$$2,6297 : 0,9713 :: 100 : x,$$

se encuentra para la cantidad de azoe contenida en 100 partes de ácido nitroso

$$x = 36,93,$$

que difiere muy poco de la cantidad que hemos hallado por los experimentos directos.

Acido hiponítrico, AzO^4.

§ 123. Hemos visto (§ 110) que en la preparacion del ácido nítrico aparecian abundantes vapores rojos al principio y al fin de la operacion. Esta circunstancia se presenta sobre todo cuando se hace obrar un equivalente de ácido sulfúrico concentrado sobre otro equivalente de nitrato de potasa : la mitad del ácido nítrico, que no se desprende en tal caso sino á una temperatura elevada, se descompone en oxígeno y en ácido hiponítrico, el cual se disuelve en el ácido nítrico monohidratado que ha destilado sin alteracion. Basta destilar con precaucion el ácido nítrico obtenido en estas circunstancias, y enfriar mucho el recipiente, para separar una cantidad notable de ácido hiponítrico.

Se obtiene tambien este producto bajo la forma de vapores rojos mezclando deutóxido de azoe con oxígeno en exceso.

Pero el mejor medio para producir el ácido hiponítrico consiste en calentar en una retorta de vidrio poco fusible (fig. 196).

ó de vidrio ordinario cubierto exteriormente de greda, el nitrato de plomo, que de antemano se deseca bien, para privarle de su agua higrométrica, pues esta sal no encierra agua combinada. Se pone esta retorta en comunicacion con un recipiente de vidrio, enfriado convenientemente, en el cual se va condensando el ácido hiponítrico.

Fig. 196.



§ 124. El ácido hiponítrico es un liquido de color anaranjado, con una densidad igual á 1,42. Hierve á +28°, y se solidifica á —13°,5. Su vapor es de un rojo intenso, y la densidad de este vapor es 1,72.

El ácido hiponítrico no es un ácido particular, pues no produce hiponitratos combinándose con las bases, y se forma siempre en este último caso una mezcla de nitrato y de nitrito; por manera que es mas conveniente el considerar esta sustancia como una combinacion del ácido nítrico con el ácido nitroso. En efecto, se tiene $2AzO^4 = AzO^5 + AzO^3$.

Puede mirarse el ácido hiponítrico como correspondiente al ácido nítrico monohidratado, en el cual el equivalente de agua sea reemplazado por el ácido nitroso. Hemos visto efectivamente que el agua descompone el ácido hiponítrico, y se forma ácido nítrico hidratado, quedando en libertad el ácido nitroso.

El ácido nitroso se porta como una base débil relativamente á muchos ácidos fuertes. Se combina con el ácido sulfúrico, y da una combinacion cristalizada $AzO^3.2SO^3$, que se obtiene del modo siguiente. Se mezclan en un tubo, adelgazado de antemano, ácido sulfuroso líquido y ácido hiponítrico, y despues se cierra el tubo con la lámpara. Al cabo de algunos dias puede abrirse el tubo, las dos sustancias se han combinado, y el producto sólido puede calentarse hasta 200°, á cuya temperatura entra en fusion, y á otra mas elevada destila sin alteracion.

En este experimento el ácido hiponítrico, AzO^4, cede una porcion de su oxígeno al ácido sulfuroso, SO^2, al que trasforma en ácido sulfúrico, SO^3, pasando el mismo al estado de ácido nitroso, AzO^3; pero la mitad solamente de este ácido se combina con el

ácido sulfúrico formado, y produce la combinacion $AzO^3.2SO^3$: la otra mitad permanece líquida. Se representa la reaccion por la equivalencia siguiente:

$$2SO^2+2AzO^4=AzO^3.2SO^3+AzO^5.$$

Este compuesto se disuelve sin alteracion en el ácido sulfúrico concentrado; pero roba agua á este mismo ácido mas dilatado, y se convierte en un hidrato que suele depositarse en cristales. Estos cristales se forman algunas veces en la fabricacion en grande del ácido sulfúrico, como muy pronto hemos de ver. En contacto con el agua pura ó con el ácido sulfúrico muy diluido, la combinacion se destruye, y los ácidos sulfúrico y nitroso quedan en libertad.

El color del ácido hiponítrico varía segun la temperatura: es de un rojo anaranjado á una temperatura superior á 15°; á 0° es amarillo, y, á 20°, el líquido viene á ser casi incoloro.

El ácido hiponítrico se descompone por el contacto del agua en ácido nítrico y en ácido nitroso. Ahora bien, hemos visto que el ácido nitroso se disolvia en el ácido nítrico en proporciones variables segun el estado de concentracion de este último, y que producia así líquidos de color muy diverso. Resulta de aquí que, si se descompone el ácido hiponítrico incorporándole una pequeña cantidad de agua, se forma ácido nítrico monohidratado, AzO^5+HO, que disuelve mucho ácido nitroso y da al líquido un color pardo ó amarillo. Si se aumenta la proporcion de agua, el ácido nítrico, que se halla mas dilatado, disuelve menos ácido nitroso, y el líquido toma entónces un color verde. Con una dósis mayor de agua, la disolucion se pone azul; y en fin, aumentando todavía mas la proporcion de agua, el líquido queda incoloro. En todos estos casos se desprende una cantidad mas ó menos considerable de vapores rojos.

§ 125. *Análisis del ácido hiponítrico.*—Se introduce una cierta cantidad de este ácido en un tubo encorvado *efg*, adelgazado por sus extremos, como manifiesta la figura 197. Este tubo se ha pesado vacío; se le vuelve á pesar despues de haber introducido el líquido, y se cierran á la lámpara sus dos extremidades: el aumento de peso que ha tenido el tubo representa el de la sustancia introducida. Se adapta una de sus puntas al extremo *a*, adelgazado tambien, de un tubo *ab* lleno de cobre metálico, ajustando y cerrando la union por medio de un pequeño tubo de goma elástica. Por la otra extremidad abierta *b* se mete un tapon provisto de un tubo encorvado á propósito para recoger los gases sobre una pequeña cuba de mercurio. Se expele completamente el aire encerrado en el tubo

ab, con el auxilio de una corriente de ácido carbónico, que salga de un aparato (fig. 198), dispuesto á la extremidad *a* del tubo ántes que la pequeña ampolla que contiene el ácido hiponítrico haya sido adaptada. Se calienta ahora hasta el calor rojo el tubo *ab*,



Fig. 197.

y se rompe la punta cerrada de la ampolla, apoyándola en falso contra las paredes del tubo *ab*. El ácido destila inmediatamente, su

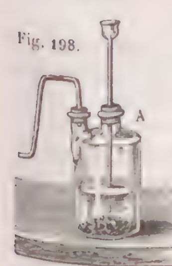


Fig. 198.

vapor se descompone al pasar por el cobre calentado, y se desprende gas azoe que se recoge en la campana C. Para descomponer hasta las últimas porciones de la sustancia, y hacer que pase todo el azoe á la campana, se pone en comunicacion el aparato de desprendimiento de ácido carbónico (fig. 198) con la otra extremidad de la ampolla, por el intermedio de un tubo de goma elástica, y despues se rompe esta extremidad. El aparato se encuentra de este modo atravesado en toda su extension por una corriente de gas ácido carbónico, que lleva consigo los últimos restos de azoe á la campana C. Este gas se mide con las precauciones que hemos descrito al hablar del análisis del nitrato de plomo (§ 113).

Se encontrará de este modo que el ácido hiponítrico está compuesto de

Azoe.	30,43
Oxígeno.	69,57
	100,00,

ó en volúmen,

$\frac{1}{2}$ vol. de azoe.	0,4856
1 » de oxígeno.	1,1056
	1,5912,

que forman 1 volúmen de ácido hiponítrico; pues la densidad de su vapor hallada directamente por la experiencia es igual á 1,62:

número muy poco superior á la suma que acabamos de obtener. Ademas, si establecemos la proporcion

$$1,5912 : 0,4856 :: 100 : x,$$

tendremos para la cantidad de azoe contenida en 100 partes de ácido hiponítrico

$$x = 30,51,$$

que difiere muy poco de la que hemos encontrado mas arriba.

Recapitulacion de las combinaciones del azoe con el oxígeno.

§ 126. Fijémonos ahora algunos instantes en la composicion de las diversas combinaciones que el azoe forma con el oxígeno.

Hemos hallado que estas combinaciones estaban compuestas del modo siguiente:

1° *Protóxido de azoe*.. 1 volúmen de gas azoe combinado con ½ volúmen de gas oxígeno, que forman 1 volúmen de gas protóxido de azoe.

2° *Deutóxido de azoe*.. 1 volúmen de gas azoe combinado con 1 volúmen de gas oxígeno, que constituyen 2 volúmenes de gas deutóxido de azoe.

3° *Acido nitroso*...... 1 volúmen de gas azoe combinado con 1 ½ volúmen de gas oxígeno. Ignoramos cuál seria el volúmen del ácido nitroso en estado de gas, porque aun no ha sido posible estudiarlo, atendida su fácil descomposicion.

4° *Acido hiponítrico*... 1 volúmen de gas azoe combinado con 2 volúmenes de gas oxígeno, que componen 2 volúmenes de gas ácido hiponítrico.

5° *Acido nítrico*...... 1 volúmen de gas azoe combinado con 2 ½ volúmenes de gas oxígeno. No se sabe cuál seria el volúmen del ácido nítrico gaseoso producido, porque hasta hace muy poco no habia sido posible obtenerlo aislado.

Una circunstancia debe llamar nuestra atencion en primer lugar, y es que en todos estos compuestos, el oxígeno y el azoe se hallan

combinados *en relaciones de volúmen sumamente sencillas*: 1 volúmen de azoe toma $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, 2 y $2\frac{1}{2}$ volúmenes de gas oxígeno. Ademas, los volúmenes de los cuerpos compuestos gaseosos, cuando ha sido posible examinarlos en este estado, guardan relaciones muy simples con los volúmenes de los gases constituyentes. Encontramos pues en este caso una comprobacion patente de la ley general que llevamos enunciada (§ 90).

En el protóxido de azoe, 1 volúmen de azoe, combinado con $\frac{1}{2}$ volúmen de oxígeno, ha producido 1 volúmen de protóxido; ó lo que es igual, 2 volúmenes de azoe y 1 de oxígeno han producido 2 volúmenes de protóxido. Así los 3 volúmenes de los gases componentes se han reducido á 2 volúmenes: ha habido aquí condensacion de $\frac{1}{3}$.

Del mismo modo en el ácido hiponítrico, 1 volúmen de azoe y 2 volúmenes de oxígeno dan 2 volúmenes de ácido hiponítrico gaseoso: la condensacion es pues la misma que para al protóxido de azoe.

Tambien hemos visto (§ 89) que 2 volúmenes de hidrógeno se combinan con 1 volúmen de oxígeno, y producen 2 volúmenes de vapor de agua: se halla aquí todavía la misma especie de condensacion que en los dos casos precedentes.

Los químicos, guiados por la analogía, han llegado á establecer como ley que: *cuando 2 volúmenes de un gas simple se combinan con 1 volúmen de otro gas simple, la combinacion gaseosa que de ellos resulta ocupa 2 volúmenes.* No admitiremos aun esta ley como demostrada, puesto que se funda solamente en tres ejemplos; pero tendremos cuidado, segun la ocasion se vaya presentando, de indicar los nuevos ejemplos que la confirman.

En el deutóxido de azoe, 1 volúmen de gas azoe se combina con 1 volúmen de gas oxígeno, y da 2 volúmenes de gas deutóxido de azoe; y así, el volúmen de gas formado es igual á la suma de los volúmenes de los gases componentes, sin condensacion. Tendremos ocasion en lo sucesivo de encontrar combinaciones de gases simples en volúmenes iguales sin condensacion: de suerte que admitiremos por analogía, hasta que hechos bien demostrados nos hagan ver que esta ley no es general, que: *cuando dos gases simples se combinan en volúmenes iguales, la combinacion se efectúa sin condensacion, es decir, que el volumen del compuesto gaseoso es igual á la suma de los volúmenes de los gases componentes.*

Si referimos la composicion de las diversas combinaciones del

azoe con el oxígeno, no ya á 1 volúmen de gas azoe, sino á 2 volúmenes de este gas, hallaremos :

1º Protóxido de azoe.	2 vol. azoe,	1 vol. oxígeno	formando 2 vol.	protóxido;
2º Deutóxido de azoe.	2 »	2 »	4 »	bióxido,
3º Acido nitroso.....	2 »	3 »	»	desconocido:
4º Acido hiponítrico..	2 »	4 »	4 »	gas hiponítrico;
5º Acido nítrico......	2 »	5 »	»	desconocido.

Los volúmenes de oxígeno que se combinan con 2 volúmenes de azoe siguen, pues, la relacion de los números naturales 1 : 2 : 3 : 4 : 5, es decir, la mas sencilla que puede haber. Tomemos estos 2 volúmenes de azoe por *unidad*, llamemos á esta unidad *equivalente del gas azoe en volúmen*, y démosle el carácter Az. Como hemos denominado ya *equivalente del gas oxígeno* á 1 volúmen de este gas, designándole por la letra O, es claro que los cinco compuestos del azoe con el oxígeno tendrán las fórmulas siguientes :

1º Protóxido de azoe.. AzO, equivalente 2 volúmenes;
2º Deutóxido de azoe.. AzO^2, equivalente 4 volúmenes;
3º Acido nitroso...... AzO^3, equivalente en volúmen desconocido, por no haberse observado jamas este cuerpo en estado gaseoso;
4º Acido hiponítrico... AzO^4, equivalente 4 volúmenes;
5º Acido nítrico...... AzO^5, equivalente en volúmen desconocido. El ácido nítrico aislado ó anhidro ha sido obtenido muy recientemente.

Hemos visto (§ 116) que 100 partes en peso de protóxido de azoe encierran :

Azoe........	63,63
Oxígeno......	36,37
	100,00.

En vez de referir esta composicion á 100 partes de protoxido de azoe, refirámosla á 100 partes de oxígeno, es decir, á este peso que hemos llamado *equivalente en peso del oxígeno* : y tendremos :

1º Protóxido de azoe.	Azoe......	175,00
	Oxígeno...	100,00
	Que forman...	275,00 de protoxido de azoe.

Refiramos ahora la composicion de todas las otras combinaciones del azoe con el oxígeno al peso 175 de azoe, y nos resultará que

todas estarán representadas del modo siguiente, sencillo en extremo y fácil de retener:

2° Deutóxido de azoe.	Azoe......	175,00	
	Oxígeno...	200,00	
	Que dan......	375,00	de deutóxido de azoe.
3° Acido nitroso.....	Azoe......	175,00	
	Oxígeno...	300,00	
	Que producen..	475,00	de ácido nitroso.
4° Acido hiponítrico.	Azoe......	175,00	
	Oxígeno...	400,00	
	Que constituyen.	575,00	de ácido hiponítrico.
5° Acido nítrico.....	Azoe......	175,00	
	Oxígeno...	500,00	
	Que forman....	675,00	de ácido nítrico.

Demos un nombre particular á este peso 175 de azoe, llamémosle *equivalente en peso del azoe*, y es claro que tendremos para la composicion de estas diversas combinaciones:

1° Protóxido de azoe.......	$Az=175,00$	
	$O=100,00$	
	$AzO=275,00$	= equivalente en peso del protóxido de azoe.
2° Deutóxido de azoe.......	$Az=175,00$	
	$2O=200,00$	
	$AzO^2=375,00$	= equivalente en peso del deutóxido de azoe.
3° Acido nitroso..........	$Az=175,00$	
	$3O=300,00$	
	$AzO^3=475,00$	= equivalente en peso del ácido nitroso.
4° Acido hiponítrico.......	$Az=175,00$	
	$4O=400,00$	
	$AzO^4=575,00$	= equivalente en peso del ácido hiponítrico.
5° Acido nítrico...........	$Az=175,00$	
	$5O=500,00$	
	$AzO^5=675,00$	= equivalente en peso del ácido nítrico.

Eligiendo el peso 175 de azoe, para referirle la composicion de

estas diversas combinaciones, hemos obtenido por resultado, que los pesos de oxígeno que se combinan con este peso de azoe, para formar los diversos compuestos, son múltiplos en la razon de los números simples 1 : 2 : 3 : 4 : 5, del peso de oxígeno que hemos ya tomado por unidad, y llamado equivalente del oxígeno. Pudieramos haber elegido como unidad otro peso de azoe, un peso cualquiera, para referir á él la composicion de todas las combinaciones; pero se echa de ver fácilmente que ninguno de estos pesos daria números tan sencillos y fáciles de retener como el que hemos escogido. Esta extrema sencillez es la que nos induce á tomar especialmente el peso 175 de azoe, y á darle el nombre de *equivalente del azoe*. Hemos de ver en adelante otras consideraciones que justificarán esta eleccion.

Demos á conocer ahora el método para expresar la composicion de las diversas combinaciones del azoe con el oxígeno, segun la teoría de los átomos, ó segun la *teoría atómica*.

Hemos supuesto que todos los gases simples contenian bajo volúmenes iguales el mismo número de átomos; y así diremos:

En el protóxido de azoe.	2 átomos de azoe	están combinados con	1 átomo de oxígeno,
En el deutóxido de azoe.	2	»	»	2 átomos de oxígeno,
En el ácido nitroso....	2	»	»	3 átomos de oxígeno,
En el ácido hiponítrico.	2	»	»	4 átomos de oxígeno,
En el ácido nítrico.....	2	»	»	5 átomos de oxígeno,

y, si adoptamos el carácter Az para indicar 1 átomo de azoe, las fórmulas que representarán 1 átomo de estas combinaciones serán

Protóxido de azoe... Az^2O,
Deutóxido de azoe... Az^2O^2,
Acido nitroso........ Az^2O^3,
Acido hiponítrico... Az^2O^4,
Acido nítrico....... Az^2O^5;

ó aun, si representamos el doble átomo de azoe Az^2 por el carácter Az, y el número de átomos de oxígeno por un número igual de puntos colocados encima,

Protóxido de azoe.... $\overset{\cdot}{Az}$,
Deutóxido de azoe.... $\overset{\cdot\cdot}{Az}$,
Acido nitroso........ $\overset{\cdot\cdot\cdot}{Az}$,
Acido hiponítrico..... $\overset{::}{Az}$,
Acido nítrico........ $\overset{:\cdot:}{Az}$.

El peso del átomo del azoe será por lo demas la mitad de su equivalente, es decir, 87,5.

COMBINACIONES DEL AZOE CON EL HIDRÓGENO.

Amoniaco, AzH^3.

§ 127. El hidrógeno y el azoe, combinándose entre sí, constituyen un compuesto gaseoso, que se conoce con el nombre de *amoniaco*: nombre dado á este cuerpo por los antiguos químicos, y que le ha sido conservado por los modernos, aun cuando forme excepcion de los principios de nuestra nomenclatura.

El hidrógeno y el azoe no se combinan directamente, cuando se hallan en estado de gas. Sin embargo, haciendo pasar una corriente de chispas eléctricas por entre una mezcla de estos dos gases, y sobre todo en presencia de vapores ácidos, hay combinacion y formacion de una pequeña cantidad de amoniaco. Es probable que un fenómeno de esta especie sea el que dé orígen al nitrato de amoniaco que se encuentra en el agua de lluvia de las tempestades y tormentas.

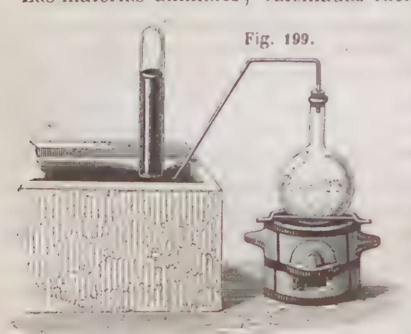
Por el contrario los dos gases se combinan fácilmente, cuando se encuentran en presencia uno de otro dentro de un líquido, y en el *estado naciente*. Un pedazo de hierro que se cubra de orin, por el contacto del aire, origina casi siempre un poco de amoniaco. La capa de agua que cubre al hierro, disuelve los gases del aire atmosférico: el oxígeno de este aire se une al metal, formando óxido de hierro, y la película de óxido formado constituye con el metal un elemento voltáico bastante poderoso para descomponer el agua. El oxígeno libre que resulta de esta descomposicion se une con una nueva cantidad de hierro, y el hidrógeno naciente, encontrando al azoe disuelto en el agua, se combina con él, y forma amoniaco. Esta formacion es auxiliada ademas por la presencia del ácido carbónico del aire.

Cuando se disuelve zinc en el ácido nítrico dilatado en agua, se encuentra en la disolucion una cantidad notable de nitrato de amoniaco; lo cual se explica de la manera siguiente: disolviéndose zinc en ácido nítrico muy diluido, se desprende gas hidrogeno, y se forma nitrato de óxido de zinc, en virtud de una reaccion igual a la que se produce por el contacto del zinc y del ácido sulfúrico debilitado. Si, á la inversa, se trata el zinc por el ácido nítrico concentrado, el metal se oxida á expensas del oxígeno de una porcion del ácido nítrico, se forma aun nitrato de zinc, y se desprende azoe y oxidos

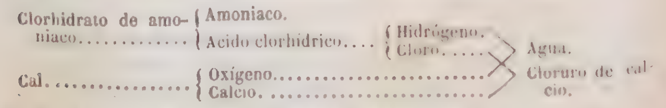
de azoe. En fin, si se trata el zinc por el ácido nítrico de una concentracion media, las dos reacciones se verifican á la vez: el zinc se oxida á expensas del oxígeno del agua, y á expensas del oxígeno de una porcion del ácido nítrico, separándose una mezcla de hidrógeno y de azoe. Estos dos gases, encontrándose dentro del líquido en el *estado naciente*, se combinan y producen amoniaco; así es que en la disolucion se halla una cantidad considerable de nitrato de amoniaco, que será mayor todavía, si se disuelve el zinc en una mezcla de ácido sulfúrico y nítrico, dilatada en agua. Se vierte en primer lugar la disolucion de ácido sulfúrico, y despues se echa gota á gota el ácido nítrico hasta que el desprendimiento de gas hidrógeno cese enteramente: el zinc continúa disolviéndose sin desprendimiento de hidrógeno, el cual queda totalmente en el líquido bajo el estado de amoniaco.

Observaremos en adelante un gran número de hechos análogos, relativos á gases que no combinándose cuando se les mezcla en el estado gaseoso, lo verifican con frecuencia en el momento que quedan libres en una misma disolucion. Se dice entónces que se combinan *en estado naciente.*

Las materias animales, calcinadas fuera del contacto del aire, dan una cantidad considerable de carbonato de amoniaco, que se separa por destilacion. Se disuelve este carbonato en el ácido clorhídrico, y se le convierte así en clorhidrato de amoniaco, llamado *sal amoniaco* en el comercio.


Fig. 199.

Se obtiene el gas amoniaco calentando en un pequeño matraz (fig. 199) una mezcla de 1 parte de sal amoniaco pulverizada, y 2 partes de cal viva.



Se forma cloruro de calcio, agua y gas amoniaco,

$$AzH^3.HCl + CaO = AzH^3 + CaCl + HO;$$

el agua es retenida por el exceso de cal viva, que es un cuerpo muy ávido de humedad. Sin embargo, como la temperatura aumenta, sobre todo al fin de la operacion, y por consiguiente el agua puede desprenderse en parte, es necesario, cuando se quiera obtener el gas perfectamente seco, hacer que atraviese por un tubo lleno de fragmentos de potasa cáustica, que absorbe completamente la humedad. No puede emplearse en este caso el cloruro de calcio, porque absorbe, *en frio*, una gran cantidad de gas amoniaco.

El desprendimiento de amoniaco principia aun en frio al mezclar la cal con la sal amoniaco.

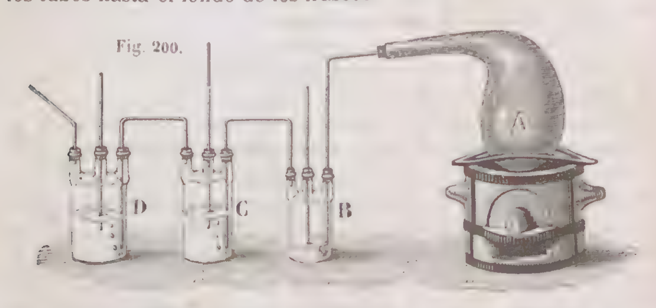
§ 128. El amoniaco es un gas incoloro, de un olor fuerte y penetrante, que excita el lagrimeo. Su densidad es de 0,597. Es una álcali muy enérgico, y por ser gaseoso se le ha dado el nombre de *álcali volátil*. Restablece el color azul de la tintura de tornasol enrojecida por un ácido, y neutraliza los ácidos mas poderosos; por ejemplo, el ácido sulfúrico.

El gas amoniaco es muy soluble en el agua, y la disolucion se efectúa casi instantáneamente, segun puede demostrarse por el experimento que sigue: se llena de gas amoniaco muy puro una campana colocada sobre la cuba de mercurio; se pone un platillo de porcelana debajo de la campana, se la levanta con el platillo lleno de mercurio, y se introduce el todo con precaucion en un pequeño barreño ó cuenco lleno de agua, hasta sentar el platillo en el fondo del vaso. El gas de la campana no se encuentra en contacto todavía mas que con el mercurio; pero levantándola de repente, sin sacar no obstante su orificio de debajo del agua, el mercurio, por su gran densidad, caerá al fondo de la vasija, y el agua se elevará en la campana, absorbiendo al gas amoniaco con tal rapidez, que la llenará instantáneamente. Si el gas amoniaco fuese perfectamente puro, el agua chocaria con tal violencia contra la parte superior de la campana, que la romperia las mas de las veces; y por lo mismo es menester cuidar, cuando se hace este experimento, de envolver la campana con un paño ó lienzo fuerte, pues sin esta precaucion se correria el riesgo de ser herido. Basta la presencia de una sola burbuja de aire en el gas, para que disminuya considerablemente, en razon á la elasticidad de aquel flúido, la violencia del choque y evitar el que se rompa la campana.

Un pedazo de hielo, introducido en una campana llena de gas amoniaco, se funde inmediatamente absorbiendo el gas. El agua disuelve cerca de 500 veces su volúmen de gas amoniaco en frio. El calor le expele completamente de esta disolucion, por manera que despues de algun tiempo de ebullicion, el líquido pierde hasta los

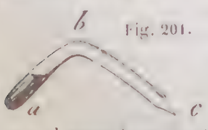
mas ligeros restos de este gas. Se prepara la disolucion de amoniaco por medio de un aparato de Woolf (fig. 200). Se coloca en un gran matraz, ó en una retorta A, una mezcla de sal amoniaco y de cal; pero no se toma cal viva, como al preparar el amoniaco gaseoso, sino cal apagada; y aun suele añadirse á la mezcla un poco de agua para favorecer la reaccion entre las dos sustancias. El gas atraviesa primeramente por un pequeño frasco lavador B, que contiene muy poca agua, y de aquí pasa á los frascos C, D llenos del mismo líquido hasta los tres cuartos. Como la disolucion de amoniaco es mas ligera que el agua pura, es necesario tomar la precaucion, si se quiere obtener una disolucion saturada, de sumergir los tubos hasta el fondo de los frascos.

Fig. 200.



El gas amoniaco se liquida por un frio de —40° bajo la presion ordinaria de la atmósfera, ó á la temperatura de 40° bajo una presion de $6\frac{1}{2}$ atmósferas. Se le obtiene fácilmente líquido por el procedimiento que sigue: se toma cloruro de plata pulverizado, y se le expone en frio á una corriente de gas amoniaco seco: el cloruro de plata absorbe una gran cantidad de amoniaco. Cuando se halla bien saturado de este gas, se le coloca en un tubo encorvado *abc* (fig. 201), cuya extremidad abierta *c* se cierra en seguida á la lámpara. Basta ya sumergir en un baño de agua, cuya temperatura se eleve gradualmente, la extremidad *a* del tubo que contiene el cloruro de plata amoniacal: esta sustancia se funde hácia los 38°, entra en ebullicion y suelta todo el amoniaco, el cual se condensa en la pared del tubo, enfriada con hielo, constituyendo un líquido incoloro muy movible, y de una densidad igual á 0,76. Si en seguida se deja enfriar el cloruro, se ve que el amoniaco líquido disminuye prontamente, y acaba por desaparecer del todo, absorbido otra vez por el cloruro de plata; de

Fig. 201.



suerte que el mismo aparato puede servir indefinidamente para reproducir el experimento.

En las fábricas se sustituye á la retorta de vidrio otra retorta ó cilindrio de hierro colado, dispuesto en un horno, en el cual se aumenta la temperatura hasta un grado bastante elevado para fundir el cloruro de calcio; y esto permite sacarlo mas fácilmente para empezar una nueva operacion. Es útil reemplazar el clorhidrato de amoniaco por el sulfato, que no se encuentra tan caro en el comercio; aunque es indispensable en este caso añadir un poco de agua, y hacer una mezcla muy perfecta, porque el sulfato de amoniaco no es volátil como el clorhidrato, y la reaccion no se produce ya sino por el contacto de las materias.

Si se hace pasar gas amoniaco por un tubo de porcelana calentado hasta el rojo, se descompone parcialmente. Se facilita mucho esta descomposicion, colocando en el tubo alambres de hierro, de cobre ó platino. El metal no interviene en la reaccion química, y ejerce solamente una *accion de presencia;* sin embargo, el hierro y el cobre absorben en este caso una ligera porcion de azoe, y se vuelven muy quebradizos, al paso que el platino no sufre alteracion ninguna.

Si se proyecta, por una pequeña abertura, una corriente de gas amoniaco en una atmósfera de gas oxígeno puro, y se inflama esta corriente, el gas continuará ardiendo con una llama amarilla: el gas amoniaco no es sin embargo bastante combustible para arder en el aire.

§ 129. El gas amoniaco se descompone tambien por la chispa eléctrica; pero la descomposicion no se verifica mas que en el espacio mismo que recorre la chispa, de suerte que es menester una corriente rápida y bastante continuada de chispas eléctricas para descomponer el gas completamente. Si se practica el experimento en un eudiómetro graduado, se advierte que el volúmen del gas va aumentando hasta llegar á ser doble que el primitivo. Esta circunstancia demuestra, pues, que el gas amoniaco da por su descomposicion un volúmen de una mezcla de gas hidrógeno y azoe, doble que el suyo propio.

Es fácil ya determinar por un análisis eudiométrico, la relacion en que se han separado los dos gases. Supongamos que se introduzcan en un eudiómetro 100 partes de la mezcla, y 50 partes de oxígeno, y que se haga pasar la chispa eléctrica: se hallará que el volúmen se reduce á 37,5. Han desaparecido pues 112,5 de una mezcla de gas hidrogeno y oxígeno en las proporciones que constituyen el agua, es decir 75 de hidrógeno y 37,5 de oxígeno. Asi

100 partes de mezcla gaseosa contienen 75 de hidrógeno y 25 de azoe. Pero pueden aislarse estas 25 partes de azoe, introduciendo en la campana una bolita de fósforo, que absorba las 12,5 de oxígeno; ó haciendo el análisis eudiométrico, por medio del hidrógeno, de la mezcla de azoe y oxígeno. Ahora bien, las 100 partes de mezcla provienen de 50 partes de gas amoniaco; luego 50 partes de gas amoniaco contienen 75 de hidrógeno y 25 de azoe, ó de otro modo, 1 volúmen de gas amoniaco está formado de $1\frac{1}{2}$ volúmen de gas hidrógeno y de $\frac{1}{2}$ volúmen de gas azoe.

El peso de 1 $\frac{1}{2}$ volúmen	de hidrógeno es....	0,1038
El peso de $\frac{1}{2}$ »	de azoe..........	0,4856
El peso de 1 »	de amoniaco	=0,5894.

La experiencia directa ha dado 9,596, que difiere poco del número calculado.

Para deducir de aquí la composicion de 100 partes de amoniaco, basta establecer las proporciones

$$0,5894 : 0,1038 :: 100 : x,$$

lo que da para la cantidad de hidrógeno

$$x = 17,61;$$

$$0,5894 : 0,4856 :: 100 : y,$$

de donde se deduce para la cantidad de azoe

$$y = 82,39.$$

100 partes de amoniaco contienen pues, segun este análisis,

Hidrógeno..............	17,61
Azoe..................	82,39
	100,00.

Refiramos esta composicion al equivalente del azoe, es decir, á 175 de azoe, como lo hemos hecho para los compuestos de azoe y de oxígeno; bastará poner la proporcion

$$82,39 : 17,61 :: 175 : x,$$

de donde $x = 37,40$;

y se obtiene

Azoe.................	175,00
Hidrógeno..............	37,40
Que forman.............	212,40 de amoniaco.

Pero si observamos que 37,40 es con muy corta diferencia el tri-

plo del número 12,50, que hemos llamado equivalente en peso del hidrógeno, podremos escribir la composicion del amoniaco del modo siguiente:

$$\begin{aligned} Az &= 175,00 \\ 3H &= \underline{\ 37,50} \\ AzH^3 &= 212,50; \end{aligned}$$

y el número 212,50 será el equivalente en peso del amoniaco.

Los números 175,00 y 12,50 que hemos elegido como unidades para el azoe y el hidrógeno, y que hemos llamado sus equivalentes en peso, gozan aun la propiedad de *expresar la composicion del amoniaco de la manera mas sencilla posible.*

Hemos visto que 1 volúmen de gas amoniaco encierra $\frac{1}{2}$ volúmen de azoe y $1\frac{1}{2}$ de hidrógeno; y en consecuencia, 4 volúmenes de gas amoniaco contendrán 2 volúmenes de azoe, y 6 de hidrógeno. Pero 2 volúmenes de azoe representan 1 equivalente en volúmen de azoe; 6 volúmenes de hidrógeno representan 3 equivalentes en volúmen de hidrógeno; por consiguiente, segun la composicion en volúmen que hemos encontrado para el gas amoniaco, podemos decir que el amoniaco está formado de 1 equivalente de azoe y 3 de hidrógeno, y que el equivalente del amoniaco en volúmen está representado por 4 volúmenes.

En la teoría atómica se escribirá la fórmula del amoniaco Az^2H^6 ó AzH^3.

El gas amoniaco se combina directamente, en frio, con el gas ácido clorhídrico, y produce clorhidrato de amoniaco ó sal amoniaco. Mezclando 100 partes de gas amoniaco con otras 100 de gas ácido clorhídrico, se ve que el gas desaparece enteramente dando un polvo blanco de sal amoniaco, que se deposita sobre las paredes de la campana. Así los gases clorhídrico y amoniaco se combinan siempre bajo volúmenes respectivamente iguales.

El cloro descompone el amoniaco á la temperatura ordinaria, y el resultado de la descomposicion es clorhidrato de amoniaco y azoe: la reaccion se verifica entre 8 volúmenes de gas amoniaco y 3 de cloro.

3 vol. cloro........................		6 vol. ácido clorhídrico.	Clorhidrato de amoniaco.
2 » amoniaco......	{ 1 vol. azoe...... { 3 » hidrógeno..		
6 » amoniaco..			

$$4AzH^3 + 3Cl = 3(AzH^3.HCl) + Az.$$

Esta descomposicion se ejecuta ordinariamente como sigue: se echa

en un tubo largo, cerrado por un extremo, una disolucion de cloro en el agua, de modo que se llenen los $\frac{9}{10}$ del tubo, que se acaba de llenar con otra disolucion de amoniaco. Se tapa la abertura del tubo con el dedo, y se le da vuelta. La disolucion de amoniaco que es mas ligera, sube por el tubo, y se ven inmediatamente burbujas de gas azoe que se desprenden. Esta reaccion se utiliza algunas veces en los laboratorios para la preparacion de este gas, siguiendo el procedimiento que hemos descrito, página 130.

El amoniaco presenta reacciones muy curiosas en contacto de un crecido número de cuerpos; pero son en general muy complicadas para poderlas describir ahora; y lo haremos mas adelante.

AZUFRE.

Equivalente = 200.

§ 130. El azufre es un cuerpo muy abundante en la naturaleza; se presenta unas veces aislado, ó como suele decirse nativo, y otras en combinacion con un gran número de metales. El azufre, nativo ó aislado, se encuentra á veces completamente puro, y en cristales muy regulares, aunque lo mas comun es el hallarlo mezclado íntimamente con materias terrosas; y hemos de ver muy pronto cómo se le separa de estas materias, para obtenerlo bajo las dos formas en que corre en el comercio.

El azufre puede presentarse bajo los tres estados. A la temperatura ordinaria es sólido; si se calienta mas allá de los 111°, se funde y da un líquido trasparente y limpio, amarillo de canario: los pedazos de azufre no fundido quedan en el fondo del líquido, y esto prueba que el azufre aumenta en volúmen, ó se dilata, al pasar del estado sólido al líquido. El agua nos presenta un fenómeno contrario: el hielo es mas ligero que el agua, por manera que al tomar este líquido la forma sólida, se contrae en vez de dilatarse. El azufre pasa directamente del estado líquido al sólido, sin tomar el estado pastoso; y así es que se encuentra en las circunstancias favorables á la cristalizacion por via de fusion. Puede seguirse fácilmente el fenómeno de la cristalizacion del azufre, dejando enfriar poco á poco azufre fundido en un tubo de vidrio. Cuando la temperatura llega 111° próximamente, se observa que las partículas de azufre al solidificarse forman agujas, que partiendo de un punto de la pared del tubo, se separan y penetran por entre la masa líquida. Nuevas agujas vienen á engastarse con los cristales ya formados, y así continúan hasta que toda la masa se ha solidificado. Si se rompe la costra solida que se ha formado en la superficie, ántes que la solidificacion sea completa, y se vierte en seguida la parte líquida restante, se verán descubiertos los cristales. De esta manera pueden obtenerse muy hermosas cristalizaciones. Se funden para esto en un vaso de tierra dos ó tres kilógramos de azufre, y despues se abandona el líquido á un enfriamento lento; cuando se forma en la superficie una capa sólida y de algunos centímetros de grueso, se la agujerea, y se vierte, tan completamente como sea posible, el azufre que ha quedado líquido; al enfriarse la masa, se separa con cuidado toda la costra superior, manteniendo el vaso boca á bajo para no desgraciar los cristales que tapizan las paredes. Estos cris-

tales son prismas largos, brillantes y del mismo matiz que el azufre líquido.

La forma dominante del azufre cristalizado por via de fusion es un prisma romboidal oblicuo, en el que el eje principal se halla inclinado 85° 54′ sobre la base, que es un rombo con un ángulo obtuso de 90° 32′. Esta forma pertenece al quinto sistema cristalino.

Puede hacerse cristalizar el azufre á una baja temperatura, disolviéndole en un líquido volátil. El sulfuro de carbono es el mas á propósito para este objeto. Si se abandona al aire una disolucion de azufre en el sulfuro de carbono, el líquido se evapora rápidamente; muy pronto el azufre deja ya de encontrar el suficiente sulfuro de carbono para permanecer en disolucion, y se deposita lentamente bajo la forma de cristales regulares, que difieren en un todo de los que se forman en el azufre fundido. Hemos insistido sobre este particular en la introduccion (§ 43).

El azufre cristalizado por via de disolucion presenta exactamente la misma forma y el mismo aspecto que el azufre nativo, el cual se encuentra algunas veces en cristales muy gruesos, y de una pureza perfecta. La forma comun de estos cristales, representada en la figura 70 (página 34), es un octaedro recto, cuya base es un rombo, perteneciente al cuarto sistema cristalino (fig. 66). Estos cristales presentan la fractura vítrea y concóidea, y su densidad es de 2,07.

Los cristales que se han depositado en el azufre fundido son trasparentes y un poco elásticos, pero pierden muy pronto estas propiedades, y se vuelven opacos y friables, presentando un color amarillo mas claro. Hemos indicado la causa que produce esta alteracion (§ 43).

Suele sin embargo suceder que, disolviendo en el sulfuro de carbono azufre recientemente fundido, el líquido, abandonado á una evaporacion espontánea, deposita cristales pertenecientes á los dos sistemas. Se distinguen fácilmente octaedros rectos cuya base es un rombo, que dominan por lo general, y prismas romboidales oblicuos. Los cristales octaédricos conservan su trasparencia y su color, miéntras los cristales en prismas oblicuos se vuelven opacos, friables, y de un color amarillo de paja. No puede servirnos en este caso la diferente temperatura á que la cristalizacion se verifica (como lo hemos hecho § 43) para explicar el dimorfismo del azufre; puesto que las dos formas incompatibles se han desenvuelto en el mismo medio. Es probable que estas dos formas tengan relacion con los dos estados, de azufre ordinario y de azufre blando, que muy luego daremos á conocer, pues disolviendo el azufre blando

en el sulfuro de carbono, es cuando se obtienen en mayor número cristales prismáticos mezclados con cristales octaédricos.

El azufre fundido es perfectamente limpio, y de un amarillo claro: si la temperatura aumenta, su color se va volviendo mas oscuro, y al mismo tiempo pierde su fluidez. A 160° ya no se mueve sino difícilmente, y su color de amarillo que era pasa al pardo. A 200° es tan viscoso que puede volcarse el vaso que lo contiene sin que se derrame, y su color es entónces de un pardo oscuro. Aumentando todavía mas la temperatura, el azufre vuelve á tomar su fluidez, conservando su color pardo; y por último, á 400° entra en ebullicion, y puede ser destilado. Para esto no hay mas que introducir el azufre en una retorta de vidrio provista de un recipiente, y calentarlo con carbon: el azufre se derrite prontamente, despues va pasando por todos los estados intermedios que acabamos de indicar, y entra al fin en ebullicion. Los vapores que llegan hasta el cuello de la retorta, se condensan primeramente bajo la forma de un polvo muy fino, y esto es lo que se llama *azufre en flor* ó *flores de azufre;* pero continuando la destilacion, la temperatura se eleva sucesivamente en el cuello de la retorta, pasa muy luego de los 111°, punto en que se funde el azufre, y sus vapores, al condensarse esta vez, toman necesariamente la forma líquida. Las materias extrañas, no volátiles, que pudiera contener el azufre sometido á la destilacion, quedarán como residuo en la retorta. El vapor de azufre presenta un color amarillo pardusco, y la densidad de este vapor se ha hallado ser igual á 6,654.

Si se calienta el azufre en un crisol hasta una temperatura superior á 200°, y se le vierte en seguida, formando un chorro delgado, en una vasija de barro llena de agua fria, se obtiene una masa esponjosa, parda, blanda y elástica, que conserva su blandura por algun tiempo; despues se endurece prontamente, y al cabo de muchos dias el azufre vuelve á adquirir su dureza ordinaria, pero su color permanece siempre mas subido. El *azufre blando* se pone duro en algunos instantes; y si en vez de dejarlo á la temperatura ordinaria, se le calienta hasta cerca de 100°, la trasformacion se verifica repentinamente, y con desprendimiento espontáneo de calor; pues el azufre blando, calentado á 100°, eleva su temperatura hasta 110°.

El azufre es un cuerpo combustible; y arde con una llama azulada, despidiendo un olor sofocante que todo el mundo conoce, pues es el que produce una pajuela azufrada ordinaria cuando se inflama. El azufre se combina en este caso con el oxígeno del aire, y da orígen á un compuesto gaseoso, al *gas ácido sulfuroso.*

§ 131. El azufre suele encontrarse nativo en las inmediaciones

de los volcanes, é impregna las cenizas que forman los cráteres de los volcanes apagados, que se conocen en este caso con el nombre de *sulfataras*. Pero su criadero principal lo constituyen masas ó montones irregulares en el seno de margas bituminosas, de capas de yeso y de cal carbonatada, pertenecientes á la formacion cretácea. Las explotaciones de Sicilia, que son las mas importantes del globo, se encuentran en un criadero semejante, y suministran casi todo el azufre que se consume en las artes. En España se halla tambien el azufre en cantidad considerable, principalmente en Hellin y Conil: en el primer punto se encuentra el azufre margoso, muchas veces en geodas y en masas orbiculares, distinguiéndose por su lustre fuerte craso, que tira al pardo rojo. En Conil se presenta entre cales carbonatadas, ó impregnando masas arcillosas, y es una de las localidades que nos ofrecen mas hermosas cristalizaciones. Existe tambien nativo en Aragon, Viscaya y en otros varios puntos.

El azufre nativo se halla mezclado solamente con materias terrosas, y se somete desde luego á una primera purificacion, derritiéndolo en grandes calderas; las tierras quedan en el fondo, y el azufre líquido se saca con cucharas ó cazos, y se le vacía en vasos de palastro, de los cuales se le extrae fácilmente despues del enfriamiento. Se le exporta en este estado bajo el nombre de *azufre en bruto*.

Los residuos terrosos, sacados de las calderas, se sujetan con los minerales pobres á una destilacion, que se efectúa en los parajes mismos donde se beneficia el azufre. Se coloca la tierra azufrosa en unos tarros ú orzas de barro (fig. 202) de unos 20 litros de cabida, los

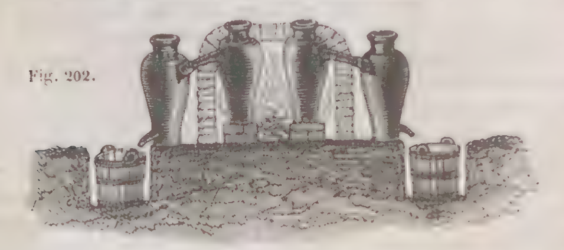


Fig. 202.

cuales tienen en su parte superior una abertura, que se halla tapada durante la operacion, y sirve para cargarlos y sacar los residuos. Un tubo inclinado, de barro tambien, conduce el azufre á otros tarros iguales á los primeros, y que hacen las veces de recipientes. Estos últimos tienen hácia su fondo una abertura que se destapa de cuando en cuando, para dar salida al azufre líquido, que es recibido

en unas cubetas llenas de agua. Los tarros que contienen la tierra azufrosa se hallan colocados en dos filas dentro de un horno largo, que se llama *horno de galera*.

Esta primera destilacion se ejecuta de un modo muy imperfecto; y el azufre que por ella se obtiene encierra de 10 á 15 por 100 de materias terrosas. En este estado se le conoce aun en el comercio con el nombre de *azufre en bruto*.

El azufre en bruto es sometido, en los parajes mismos de su consumo en grande, á una segunda destilacion que se practica con mucho mas cuidado. El aparato (fig. 203), en el cual se efectúa,

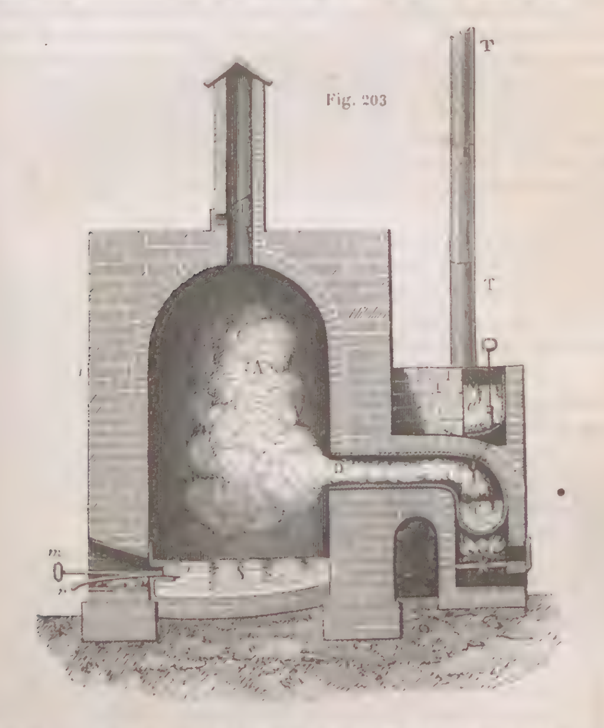


Fig. 203

consiste en una caldera de hierro colado CD, que hace el oficio de retorta, y en una espaciosa cámara de buena fabrica A, que sirve de recipiente. La caldera se halla colocada sobre un horno, cuyo hogar está en K. En los antiguos aparatos, una puerta de fundicion

servia para cargar la caldera con azufre en bruto, y sacar los residuos; al paso que en los modernos la destilacion es continua.

El vapor de azufre que se desprende de la caldera, se dirige por el conducto D á la cámara A, donde se condensa en forma de un polvo muy fino, que constituye las flores de azufre. La cámara se halla provista de válvulas *s*, que dejan salir el aire interior calentado, é impiden la entrada del exterior.

Se puede, con auxilio de este aparato, producir segun se quiera el azufre en flor, ó el azufre fundido. Condensándose el vapor de azufre, calienta la cámara, que adquiere prontamente una temperatura superior á 111° : el azufre no puede ya condensarse en estado sólido, y pasa solamente al estado líquido, reuniéndose en el suelo de la cámara. Se concibe, segun esto, que para obtener el azufre en flor, será menester dar á la cámara las mayores dimensiones posibles, é interrumpir de cuando en cuando la destilacion, para dejar enfriar las paredes. Si se quiere por el contrario sacar el azufre líquido, se ejecuta la operacion en una cámara mas chica, y de una manera continua.

Para cargar de azufre la caldera C, habia necesidad en otro tiempo de quitar la puerta : inconveniente grave que ocasionaba á menudo explosiones, debidas á la mezcla de aire atmosférico con el vapor de azufre muy calentado. Se evita en el dia este peligro, colocando fuera del horno una segunda caldera M, que es calentada por la corriente de aire que pasa del hogar á la chimenea. Esta caldera comunica con la primera por medio de un conducto *v*. La carga de azufre en bruto se pone desde luego en la caldera M, donde se liquida y depura de una porcion de materias extrañas, que se van depositando en el fondo; de suerte que el azufre penetra en la caldera C, purificado ya por una especie de *decantacion*.

Fig. 204.

Despues de la operacion, se sacan las flores de azufre por una puerta lateral. El azufre fundido sale por una pequeña canal *r* (fig. 203), cuya abertura *o* puede cerrarse con un tapon, y va á parar á unos moldes (fig. 204) de madera de abeto mojados, pero bien escurridos, en los cuales toma la forma de cilindros algo cónicos : este es el azufre que corre en el comercio con los diferentes nombres de *azufre en cañon ó en canutillo*. En estos moldes el azufre cristaliza primero hácia las paredes, despues sucesivamente hasta en el eje; y al mismo tiempo experimenta una contraccion que se hace sensible por la especie de cavidad, llena de agujas

confusas, que los cilindros de azufre presentan siempre en la extremidad que ocupaba la parte superior del molde.

Las flores de azufre presentan casi siempre una ligera reaccion ácida al papel de tornasol. Esta acidez consiste en la presencia de una cantidad muy pequeña de ácido sulfúrico, que se puede quitar, lavándolas con agua. De aquí las *flores de azufre lavadas*.

COMBINACIONES DEL AZUFRE CON EL OXÍGENO.

§ 132. El azufre forma con el oxígeno muchas combinaciones. En el dia se conocen siete bien definidas, y son todas ácidas, á saber :

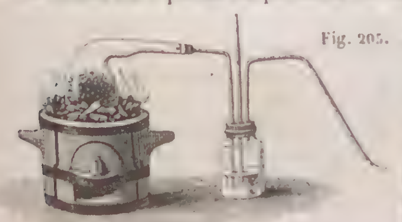
1° El ácido hiposulfuroso..............	S^2O^2
2° El ácido hiposulfúrico trisulfurado....	S^5O^5
3° El ácido hiposulfúrico bisulfurado....	S^4O^5
4° El ácido hiposulfúrico monosulfurado.	S^3O^5
5° El ácido sulfuroso.................	SO^2
6° El ácido hiposulfúrico..............	S^2O^5
7° El ácido sulfúrico..................	SO^3.

Principiaremos su estudio por el del ácido sulfuroso, pues este cuerpo es empleado para preparar casi todos los demas compuestos del azufre con el oxígeno.

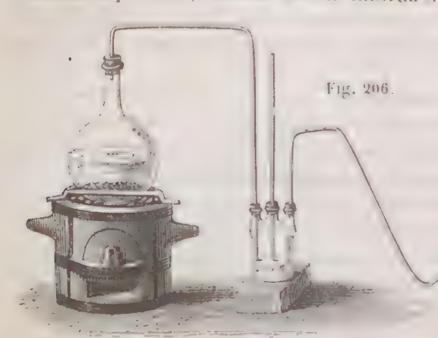
Acido sulfuroso, SO^2.

§ 133. El ácido sulfuroso se forma siempre que el azufre arde en contacto del oxígeno ó del aire ; y para obtenerlo se emplean en los laboratorios varios procedimientos.

Se calienta en una pequeña retorta de vidrio (fig. 205), una mezcla íntima de 6 partes de peróxido de manganeso pulverizado, y de 1 parte de flores de azufre. El azufre se quema á expensas de una porcion del oxígeno del peróxido de manganeso ; se desprende gas ácido sulfuroso, que es el producto de la combustion, y queda en la retorta protóxido de manganeso. El ácido sulfuroso pasa por un pequeño frasco lavador, en el cual se despoja de un poco de azufre volatilizado, y arrastrado por la corriente gaseosa.


Fig. 205.

Se obtiene tambien este gas, descomponiendo el ácido sulfúrico por un metal que le robe una porcion de su oxigeno, y que no pueda descomponer el agua en presencia de los ácidos enérgicos. Empléase para el efecto el mercurio ó el cobre. Los metales mas oxidables, como el hierro y el zinc, descompondrian al mismo tiempo el agua que existe siempre en el ácido sulfúrico concentrado, y se desprenderian á la vez gas ácido sulfuroso é hidrógeno. Se pone el mercurio, ó el cobre en forma de virutas ó en pedazos de mucha superficie, dentro de un matraz (fig. 206); se echa ácido sulfúrico concentrado y se calienta con algunas ascuas. Es necesario hacer pasar el gas por un frasco lavador, que contenga un poco de agua para despojarle de los vapores de ácido sulfúrico; y se dispone á continuacion un tubo lleno de cloruro de calcio, cuando se quiera obtener gas perfectamente seco. Este debe ser recogido sobre el mercurio, pues es muy soluble en el agua.


Fig. 206.

§ 134. El ácido sulfuroso es un gas incoloro, de un olor particular que todo el mundo conoce, por ser el que produce una pajuela azufrada ordinaria cuando se inflama. El ácido sulfuroso obra vivamente sobre los órganos de la respiracion; provoca la tos, y causa sofocaciones. Sus efectos no son perjudiciales, cuando se le respira en corta cantidad. La densidad de este gas es 2,247.

El gas sulfuroso se liquida, bajo la presion ordinaria, á la temperatura de —10° próximamente. Es fácil por consecuencia obtenerlo líquido en los laboratorios; y no hay mas que recibirlo en una ampolla A (fig. 207) sumergida en una mezcla refrigerante de hielo y sal marina, ó mejor aun de hielo y cloruro de calcio. Cuando la ampolla está suficientemente llena de líquido, se cierran con el soplete los tubos *a* y *b*. Si se prefiere conservar el ácido sulfuroso líquido en tubos de vidrio, se toman estos cerrados por un extremo, y se les estira hácia el medio, dándoles la forma representada en la figura 208: la parte superior A forma entonces

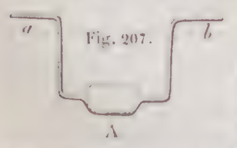


Fig. 207.

el embudo. Se vierte el ácido por este embudo: la primera gota que penetra en la capacidad B, se volatiliza y desaloja el aire; de modo que si se introduce ahora el depósito B en la mezcla refrigerante, los vapores de ácido sulfuroso se condensan en él, y lo llenan de ácido líquido. Cuando este ocupa unas tres cuartas partes de la capacidad, se cierra el tubo con el soplete en *a*, manteniéndole dentro de la mezcla refrigerante.

Fig. 208.

El ácido sulfuroso se liquida á la temperatura de $+15°$, bajo la presion de dos atmósferas poco mas ó menos; y forma un líquido incoloro, dotado de gran movilidad, y de una densidad igual á 1,42. Volatilizándose en el aire, produce un enfriamiento considerable. Si se vierte ácido sulfuroso líquido sobre la bola de un termómetro, envuelta con batista ó algodon, el frio producido es bastante grande para congelar el mercurio. Si se hace lo mismo sobre un termómetro de alcohol, este baja hasta $-50°$ ó $-60°$, segun sea mas ó menos elevada la temperatura del aire. Se obtiene un frio mas intenso todavía, soplando sobre la bola mojada, ó bien manteniéndola bajo de la campana de la máquina neumática, y haciendo el vacío.

El gas ácido sulfuroso, como todos los gases que á la temperatura ordinaria se hallan cerca de su punto de liquidacion, se desvía notablemente de la ley de Mariotte. Para los mismos aumentos de presion, el volúmen del ácido sulfuroso disminuye con mas rapidez que el del aire. La diferencia es tanto mayor, cuanto mas baja es la temperatura, y llega á ser muy pequeña para las temperaturas superiores á 30°.

§ 135. La composicion del ácido sulfuroso se determina fácilmente por la síntesis. En un globo de vidrio (fig. 209), lleno de gas oxígeno, y colocado sobre el mercurio, se introduce una pequeña cápsula, que contenga un fragmento de azufre, y fija á la extremidad de una varilla; despues se inflama el azufre valiéndose de un espejo ustorio. El cuerpo arde, y trasforma una porcion del oxígeno en gas ácido sulfuroso. Se observa que el volúmen gaseoso no ha variado por esta combustion, y se deduce de aquí que el gas ácido sulfuroso encierra un volúmen de oxígeno igual al suyo. Este solo dato basta para llegar a conocer la composicion del gas ácido sulfuroso. En efecto, si del



Fig. 209

peso de 1 volúmen de gas ácido sulfuroso, representado por su densidad.. 2,247
se rebaja el peso de 1 volúmen de gas oxígeno.......... 1,106

queda.. 1,141,
que representa con muy corta diferencia $\frac{1}{6}$ de volúmen de vapor de azufre$=\frac{6,654}{6}=1,109$.

Así pues, 1 volúmen de gas ácido sulfuroso se compone de 1 volúmen de oxígeno, y de $\frac{1}{6}$ de volúmen de vapor de azufre.

Por una simple proporcion, se hallará para la composicion en peso :

Azufre.................	50,87
Oxígeno...............	49,13
	100,00.

Refiramos la composicion del ácido sulfuroso gaseoso al volúmen $\frac{1}{3}$ de vapor de azufre, que adoptaremos por *equivalente en volúmen* del azufre gaseoso, en vista de las razones que mas adelante indicaremos; y podrá decirse : 2 volúmenes de gas sulfuroso contienen $\frac{1}{3}$ de volúmen de vapor de azufre y 2 volúmenes de oxígeno; y por consiguiente, 1 equivalente de ácido sulfuroso, representado por 2 volúmenes, contiene 1 equivalente de vapor de azufre ($\frac{1}{3}$), y 2 equivalentes de oxígeno (2 volúmenes). La fórmula del ácido sulfuroso será, segun esto, SO^2.

Tambien hemos de ver en lo sucesivo por qué razones adoptamos el peso 200 de azufre para expresar el *equivalente en peso* de este cuerpo. Refiramos la composicion del ácido sulfuroso á este peso 200 de azufre; y diremos que el ácido sulfuroso se halla compuesto de

1 eq.	de azufre...............	200
2 »	oxígeno.............	200
1 »	ácido sulfuroso........	400;

de donde resulta para la composicion en peso

Azufre........................	50,00
Oxígeno......................	50,00
	100,00.

Se notará una diferencia grande entre la composicion teórica que precede, y la que hemos deducido por la experiencia. Esto consiste en que las densidades admitidas para el gas sulfuroso y el vapor de azufre, no se refieren exactamente á las circunstancias en que estos cuerpos siguen las leyes de los gases permanentes.

§ 436. El gas ácido sulfuroso no se descompone por la accion sola del calor, puesto que se forma á una temperatura muy alta por la combustion del azufre.

El oxígeno y el ácido sulfuroso, bien secos, no ejercen recíprocamente accion ninguna á la temperatura ordinaria; pero si se pasa la mezcla de los dos gases por un tubo calentado, que contenga esponja ó musgo de platino, hay combinacion y formacion de ácido sulfúrico anhidro.

Cuando se expone al aire una disolucion acuosa de ácido sulfuroso, hay absorcion de oxígeno y formacion de ácido sulfúrico. Esta circunstancia hace muy difícil la preparacion, y sobre todo la conservacion del ácido puro disuelto. Para preparar esta disolucion es menester emplear el agua recientemente hervida, llenar casi todo el frasco, y hacer pasar el gas rápidamente, á fin de evitar en lo posible la introduccion del aire. Cuando el líquido se halla saturado, se tapa el frasco, se le vuelve, y se conserva boca á bajo.

El agua disuelve cerca de 50 veces su volúmen de gas ácido sulfuroso, el cual es expelido completamente por la accion del calor, de manera que, hervida que sea algun tiempo esta disolucion, no conserva ni el mas ligero resto de aquel gas.

Para preparar económicamente la disolucion de ácido sulfuroso, se calienta el ácido sulfúrico concentrado, mezclado con carbon ó aun con leña. Se desprende una mezcla de gas ácido sulfuroso y ácido carbónico. La presencia de este último no es perjudicial, ya se quiera disolver el gas sulfuroso en el agua, ó ya se tenga por objeto el combinarlo con las bases. El ácido carbónico absorbido primeramente por el agua, ó por las bases salificables, es desalojado despues, segun la disolucion se va saturando de ácido sulfuroso.

El hidrógeno no obra, en frio, sobre el ácido sulfuroso; pero si se pasa una mezcla de estos dos gases por un tubo de porcelana calentado hasta el rojo, el ácido sulfuroso se descompone, formando agua y un depósito de azufre.

El ácido sulfuroso es un ácido débil, y sus combinaciones con las bases son descompuestas fácilmente por los ácidos enérgicos; como el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico, etc.; pero el ácido sulfuroso desaloja al ácido carbónico de los carbonatos.

La mayor parte de las materias colorantes orgánicas son alteradas ó descoloradas por el ácido sulfuroso: unas veces el ácido sulfuroso quita el oxígeno á la sustancia colorante, y la trasforma en una materia incolora, y otras se combina solo con la materia colorante, produciendo una combinacion incolora. Esta última circunstancia parece presentarse con las hojas de rosa; que, descoloradas por el

ácido sulfuroso, vuelven á tomar su color, cuando se las sumerge en el ácido sulfúrico diluido.

Esta propietad se utiliza en las artes para blanquear los tejidos de lana y seda; y para ello se suspenden las telas dentro de una cámara cerrada donde se quema azufre, que se coloca en un barreño: el gas ácido sulfuroso se condensa sobre las telas húmedas, y destruye la materia colorante. El blanqueo de las telas de hilo y algodon se hace por medio del cloro, que no puede emplearse para blanquear la lana y la seda, porque las altera profundamente.

Se usa tambien el ácido sulfuroso para sacar las manchas rojas que dejan las frutas sobre el lienzo. Para el efecto se moja el lienzo, y se le mantiene encima de un pedacito de azufre, ó aun de algunas pajuelas ó mechas azufradas despues de haberlas inflamado. Es menester en seguida lavar el lienzo para quitarle completamente la materia colorante alterada, pues sin esta precaucion la mancha volveria á salir.

El ácido sulfuroso se emplea ademas para azufrar los vinos, á fin de que no se tuerzan ó avinagren; y mas tarde, al tratar de la fermentacion, en la química orgánica, veremos la accion interesante que ejerce el ácido sulfuroso en estas circunstancias.

§ 137. El cloro y el ácido sulfuroso secos no presentan reaccion mútua, cuando se hallan expuestos á la luz difusa; pero bajo la influencia de una luz solar intensa, hay combinacion de los dos gases, y formacion de un compuesto líquido incoloro, de mucha movilidad, que se purifica destilándole sobre el mercurio, el cual retiene al cloro en disolucion. La densidad de este líquido es de 1,66, y hierve á los 77°. La de su vapor es 4,665. Este líquido, que exhala un olor muy fuerte y sofocante, resulta de la combinacion de volúmenes iguales de cloro y ácido sulfuroso, de modo que su fórmula será SO^2Cl. El agua le descompone prontamente, y se forma ácido sulfúrico y ácido clorhídrico.

Los dos gases húmedos actúan inmediatamente el uno sobre el otro, produciendo ácidos clorhídrico y sulfurico.

Acido sulfuroso........ ⟩ Acido sulfúrico.
Agua.. { Oxígeno. ..... ⟩ Acido sulfúrico.
Agua.. { Hidrógeno..... ⟩ Acido clorhídrico.
Cloro. .... ⟩ Acido clorhídrico.

$$SO^2Cl + 2HO = SO^3.HO + HCl.$$

Acido sulfúrico, SO^3.

§ 138. Hemos visto (§ 136) que el ácido sulfuroso disuelto en el agua absorbia el oxígeno del aire, convirtiéndose en ácido sulfu-

rico. Esta conversion la efectúan fácilmente los cuerpos oxidantes enérgicos, como el ácido nítrico concentrado. Si se hace pasar una corriente de ácido sulfuroso por entre ácido nítrico concentrado y calentado hasta la ebullicion, se condensa todo él en estado de ácido sulfúrico, y el ácido nítrico pasa al de ácido hiponítrico.

Se obtiene igualmente el ácido sulfúrico, calentando el azufre en contacto del ácido nítrico; pero es menester bastante tiempo para oxidar el azufre.

Por estos dos procedimientos se saca una mezcla de ácido sulfúrico, ácido nítrico y agua. Se destila esta mezcla en una retorta de vidrio: pasa desde luego ácido nítrico mas ó menos mezclado con agua, y la temperatura se va elevando en la retorta, hasta llegar á 325°, punto en que se conserva estacionaria; destilando entónces un líquido homogéneo muy ácido, compuesto de ácido sulfúrico y agua: esta mezcla es la que se conoce con el nombre de *ácido sulfúrico concentrado*, cuyas propiedades vamos á examinar.

§ 139. El ácido sulfúrico concentrado forma un líquido inodoro, de una consistencia oleaginosa, cuya densidad á 15° es 1.843; hierve á la temperatura de 325°; y la tension de su vapor no es sensible á la temperatura ordinaria. Pueden en efecto dejarse durante muchos dias, bajo de la campana de la máquina neumática, dos cápsulas de las cuales, una contenga ácido sulfúrico concentrado, y la otra una disolucion de cloruro de bario, sin que esta se enturbie. Ahora bien, si el ácido sulfúrico emitiese vapores sensibles, al hallarse estos en contacto con la disolucion de cloruro de bario, la descompondrian, produciendo sulfato de barita insoluble, que se precipitaria en forma de un polvo blanco.

El ácido sulfúrico concentrado se congela á —35°.

Este ácido es uno de los mas enérgicos que se conocen: enrojece fuertemente el tornasol, aun cuando se halle dilatado en un volúmen de agua 1000 veces mayor que el suyo; y bajo la influencia del calor desaloja de sus combinaciones á la mayor parte de los otros ácidos. Esta última circunstancia consiste, primero en la energía del ácido, y despues en la propiedad de no hervir hasta una temperatura elevada; y esta propiedad es principalmente la causa de que el ácido sulfúrico desaloje en caliente á los ácidos clorhídrico y nítrico. Sin embargo el ácido sulfúrico es desalojado á su vez, bajo la influencia del calor, por los ácidos fosfórico y bórico, aun cuando estos sean mas débiles á la temperatura ordinaria, si bien por otra parte son mucho menos volátiles.

La destilacion del ácido sulfúrico concentrado en retortas de vi-

drio es una operacion peligrosa, por causa de los sobresaltos que produce el líquido en ebullicion. Los sobresaltos son tales, que la retorta es levantada algunas veces, y al caer sobre su asiento podria muy bien romperse. La ebullicion se hace mas regular, si se tiene cuidado de introducir en la retorta algunos hilos cortos de platino. Las burbujas de vapor no se desprenden en este caso de las paredes inferiores de la vasija, sino de las extremidades de los hilos metálicos. Con todo, la destilacion del ácido sulfúrico en retortas de vidrio no podrá hacerse sin riesgo, á menos que se cuide de calentar el líquido lateralmente, en vez de hacerlo por la parte inferior, como de ordinario se acostumbra. Para este efecto, se coloca la retorta sobre una rejilla anular de alambre de hierro, que se ve representada en la figura 210: el carbon está dispuesto al rededor

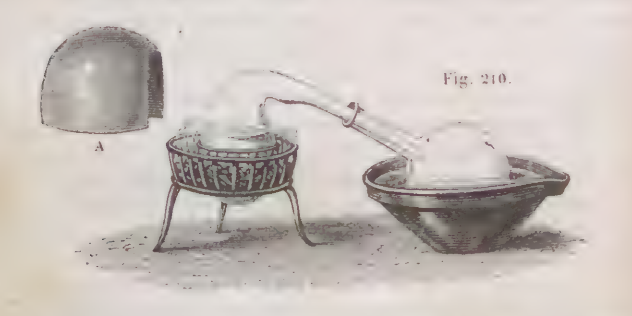


Fig. 210.

de la vasija y el fondo de ella queda libre. Para impedir la condensacion de los vapores en la parte superior de la retorta, se la tapa con una cobertera de palastro A, que queda sentada sobre el hornillo de alambre, y tiene una escotadura para dejar pasar el cuello de la vasija. La ebullicion del líquido se verifica entónces sobre las paredes laterales, y sin sobresaltos.

El ácido sulfúrico concentrado es un cuerpo muy ávido de agua. Se apodera muy eficazmente del vapor acuoso contenido en el aire; y así hemos visto que este ácido se emplea con frecuencia en los laboratorios para desecar los gases. Su afinidad con el agua es tan grande, que determina á menudo la formacion de este líquido en las sustancias orgánicas á expensas del oxígeno é hidrógeno que estas contienen; y hé aquí la causa por qué el ácido sulfúrico concentrado carboniza los tapones de corcho, que cierran algunas veces los frascos llenos de ácido. El corcho, como la mayor parte de las sustancias vegetales, es una combinacion de carbono, hidrógeno y

oxígeno. Bajo la influencia del ácido sulfúrico concentrado, el hidrógeno y el oxígeno se combinan en parte para formar agua, que se une al ácido sulfúrico; y el carbono forma con el resto del hidrógeno y oxígeno una sustancia negruzca, que da al tapon el mismo aspecto que si hubiera sido carbonizado por el fuego.

Cuando se vierte en el agua ácido sulfúrico concentrado, el ácido pasa por entre el líquido como un jarabe, y forma en el fondo del vaso una capa distinta, que se disuelve lentamente en el agua que sobrenada; pero si se agitan ambos líquidos, se disuelven inmediatamente con gran desprendimiento de calor.

Es peligroso echar agua en el ácido sulfúrico concentrado. Una parte de este líquido, uniéndose al ácido, desprende una gran cantidad de calor, que puede reducir instantáneamente á vapor otra porcion del agua, y en consecuencia proyectar ácido fuera del vaso. Cuando se quiera mezclar ácido sulfúrico y agua, operacion que se practica diariamente en los laboratorios, es menester verter el ácido formando un chorrito muy delgado, é imprimir al mismo tiempo al vaso un movimiento giratorio.

El ácido sulfúrico concentrado, puesto en contacto con hielo ó nieve, determina muy prontamente su fusion. La afinidad del ácido con el agua es la causa de que el hielo se derrita con tanta rapidez: pasando este al estado líquido, absorbe una gran cantidad de calor, que no puede tomar sino á expensas de la que contiene la mezcla. Por el contrario, la combinacion del ácido sulfúrico con el agua produce un desprendimiento de calor. Habrá pues elevacion ó baja de temperatura, segun que uno de estos dos efectos supere al otro. Si se agitan rápidamente 4 partes de ácido concentrado con 1 parte de hielo machacado, la temperatura sube hasta 100°; pero si se mezcla 1 parte de ácido con 4 de hielo, la temperatura suele bajar hasta —20°.

§ 140. La composicion del ácido sulfúrico puede determinarse de la manera siguiente:

Se pesan con mucha exactitud 5 gramos de azufre, en un pequeño matraz de vidrio, y se vierte encima ácido nítrico muy concentrado. Se calienta moderadamente; y el azufre se trasforma en ácido sulfúrico, que queda mezclado con el exceso de ácido nítrico y con agua. Cuando el azufre ha desaparecido enteramente, se deja hervir todavía por algun tiempo: el ácido nítrico y una porcion del agua se desprenden, y queda solamente en el matraz una mezcla de agua y ácido sulfúrico. Para conocer la proporcion de ácido sulfúrico real que se encuentra en la mezcla, se combina este ácido con una base anhidra que forme con él un sulfato tambien anhidro. La base que se toma con preferencia es el pro-

tóxido de plomo, que se obtiene fácilmente en estado de pureza. Se pesa una cierta cantidad de este óxido, 50 gramos, por ejemplo (esta cantidad debe ser mayor que la necesaria para saturar el ácido), y se la echa en el matraz : el ácido sulfúrico se combina con una parte del óxido de plomo, se forma sulfato de plomo, y el agua queda libre. Se desaloja el agua calentando el matraz, y, á fin de obtener una desecacion completa, se sopla á lo último hácia el interior del vaso con un fuelle, á cuyo cañon se ha adaptado un tubo de vidrio, como hemos dicho (§ 112).

Se pesa el matraz despues de frio, y se encuentra un peso de.. 62,5
Si se resta el óxido de plomo añadido.................. 50,0
queda el peso del ácido sulfúrico........................ 12,5.
5 gramos de azufre han producido pues $12^{gr},50$ de ácido sulfúrico.

Por este modo de experimentar es de temer que, durante la ebullicion del líquido, se pierda una pequeña parte de ácido sulfúrico, porque mas allá de los 100° la tension del vapor de este ácido es muy sensible.

Puede determinarse la composicion del ácido sulfúrico por otro procedimiento exento de esta causa de error. Se trasforman aun 5 gramos de azufre en ácido sulfúrico por medio del ácido nítrico, pero se practica la operacion en una retorta pequeña de vidrio, provista de un recipiente. Las cortas porciones de ácido sulfúrico arrastradas mecánicamente, ó vaporizadas, se condensan ahora en el recipiente.

Cuando la trasformacion del azufre en ácido sulfúrico es completa, en vez de expulsar el ácido nítrico en exceso mediante la accion del calor, lo cual ocasionaria una pequeña pérdida de ácido sulfúrico, se añade agua, y se vierte en el líquido hirviendo una disolucion de cloruro de bario. Se forma un precipitado de sulfato de barita, completamente insoluble en el agua, el cual es recogido sobre un pequeño filtro, y lavado cuidadosamente con agua hirviendo, hasta que las aguas del lavado tratadas por el ácido sulfúrico dejen de enturbiarse. Se seca entónces el filtro, y se le calcina al aire en un pequeño crisol de platino. El sulfato de barita queda enteramente seco, el filtro se quema, y deja solo un residuo de cenizas, que puede ser despreciado, si el filtro es pequeño. Se pesa en la balanza el crisol con la materia que contiene, se quita despues todo el sulfato, y se vuelve á colocar el crisol vacío en el platillo de la balanza. Para restablecer el equilibrio será menester añadir pesos, que representarán precisamente el del sulfato de barita. Este peso será de

36gr 45: pero, se sabe que 100 partes de sulfato de barita contienen

Acido sulfúrico.............	34,29
Barita......................	65,71
	100,00;

por consiguiente, 36,45 de sulfato encierran 12,50 de ácido sulfúrico.

Por último daremos un tercer método para llegar por la síntesis a la composicion del ácido sulfúrico.

Se encuentra en la naturaleza el sulfuro de plomo PbS, muy puro y bien cristalizado, constituyendo lo que llaman *galena* los mineralogistas. Se pesa en un pequeño matraz una cierta cantidad (10 gramos por ejemplo) de este sulfuro reducido á polvo muy fino, y se le trata por el ácido nítrico concentrado. El sulfuro de plomo se trasforma de este modo en sulfato de óxido de plomo $PbO.SO^3$; y se conoce que la trasformacion es completa, cuando el polvo gris metálico de sulfuro de plomo se ha convertido enteramente en un polvo blanco. Se evapora en seguida hasta sequedad, y se deseca el residuo en el matraz, del modo que se ha descrito (§ 112). Se ve por este medio que los 10 gramos de sulfuro de plomo producen 12,676 de sulfato de plomo; y este aumento de peso representa el oxígeno que han absorbido el azufre y el plomo para convertirse, el primero en ácido sulfúrico, y el segundo en óxido de plomo. Veremos en adelante que, en todos los sulfatos neutros, la proporcion de oxígeno contenida en la base es $\frac{1}{3}$ de la que existe en el ácido; de donde resulta que $\frac{3}{4}$ 2gr,676 = 2gr,007 representarán la cantidad de oxígeno absorbida por el azufre para pasar al estado de ácido sulfúrico.

Es fácil ademas determinar por la síntesis la composicion del sulfato de plomo. Se pesan en un crisol de platino 10 gramos de óxido de plomo, y se vierte por encima ácido sulfúrico en exceso, á fin de convertir el óxido en sulfato de plomo. Se expulsa el ácido en exceso, calentando el crisol de platino hasta enrojecerlo, por medio de una lámpara de alcohol. Se pesa otra vez el crisol cuando esté frio, y se obtiene de este modo el peso del sulfato de plomo, que será de 13gr,585; debiendo inferirse que 10 gramos de oxido de plomo se combinan con 3,585 de ácido sulfúrico; ó, en otros términos, que el sulfato de plomo está compuesto de

Acido sulfúrico..........	3gr,585	ó	26,39
Oxido de plomo.........	10gr,000	»	73,61
	13gr,585		100,00.

12^{gr},676 de sulfato de plomo encierran, pues, 3^{gr},345 de ácido sulfúrico, en las cuales existen 2^{gr},007 de oxígeno.

Se concluye en último resultado, que 3^{gr},345 de ácido sulfúrico contienen 2^{gr},007 de oxígeno y 1^{gr},338 de azufre; esto es, que el ácido sulfúrico anhidro se halla formado de

Azufre............	40,00
Oxígeno..........	60,00
	100,00,

ó, refiriendo esta composicion al peso 200 de azufre que representa su equivalente,

Azufre..............	200
Oxígeno............	300
	500,

lo que corresponde á 1 equivalente de azufre y 3 de oxígeno. Así la fórmula del ácido sulfúrico anhidro será SO^3, y su equivalente 500,00.

Puede establecerse tambien la composicion del ácido sulfúrico por el método analítico. Cuando el ácido sulfúrico concentrado pasa, en estado de vapor, por un tubo de porcelana enrojecido al fuego, se descompone en agua que queda libre, y en una mezcla de gas ácido sulfuroso y oxígeno. Se observa que estos gases entran exactamente en la proporcion de 2 volúmenes de gas ácido sulfuroso y 1 de oxígeno. Ahora bien, 2 volúmenes de ácido sulfuroso contienen $\frac{1}{3}$ volúmen de vapor de azufre y 2 volúmenes de oxígeno; luego el ácido sulfúrico encierra

$\frac{1}{3}$ vol. de vapor de azufre, cuyo peso es......	2,218
3 » oxígeno que pesa.................	3,318
	5,536;

lo cual da para la composicion del ácido sulfúrico en 100 partes.

Azufre...........	40,06
Oxígeno..........	59,94
	100,00.

Esta composicion difiere poco de la que hemos deducido por el método sintético. Sin embargo, conviene notar que el método analítico que acabamos de describir no es tan exacto como los métodos sintéticos, expuestos anteriormente, ya por exigir la medicion en volúmen de dos gases, medicion que presenta siempre alguna incer-

tidumbre, sobre todo respecto del ácido sulfuroso, que se aparta notablemente de la ley de Mariotte; ya por fundarse en la densidad del vapor de azufre, cuyo valor no conocemos sino aproximadamente, pues su determinacion experimental ofrece grandes dificultades.

§ 141. El ácido sulfúrico concentrado no es un ácido anhidro; y contiene cierta cantidad de agua, que importa mucho determinar con exactitud. Se pesan, en un matraz, 100 gramos de protóxido de plomo muy puro, reducido á polvo fino; y se vierte sobre este con precaucion, sirviéndose de una bombilla, una cierta cantidad del ácido que se quiera analizar: cantidad que debe ser inferior á la necesaria para convertir en sulfato, todo el óxido de plomo empleado. Se pesa otra vez el matraz, y supongamos que se halle un peso P: el aumento de peso (P—100) dará la cantidad de ácido concentrado, sometido al experimento. Se añade un poco de agua para favorecer la combinacion del ácido sulfúrico con el óxido de plomo, y despues se evapora el agua, y se seca la materia como se ha dicho (§ 112). Se vuelve á pesar el matraz, y se encuentra un peso P′, que se compone de 100 gramos de óxido de plomo, y del ácido sulfúrico anhidro contenido en el peso (P—100) de ácido concentrado; (P—P′ representará pues el peso del agua que tiene este ácido.

Se halla de este modo, que 100 partes de ácido sulfúrico concentrado encierran 18,3 de agua y 81,7 de ácido real.

Si referimos esta composicion al peso 500 de ácido sulfúrico anhidro, que representa su equivalente, encontraremos:

Acido sulfúrico..................	500,0
Agua......................	112,5
Acido sulfúrico concentrado.....	612,5.

Estos números dan en efecto, para la composicion en 100 partes,

Acido sulfúrico..............	81,64
Agua.....................	18,36
	100,00.

Como 112,5 representa precisamente 1 equivalente de agua (§ 93), resulta que el ácido sulfúrico concentrado encierra 1 equivalente de agua y 1 equivalente de ácido sulfúrico anhidro, y su fórmula deberá escribirse $SO^3 + HO$, ó $SO^3.HO$. El equivalente del ácido sulfúrico concentrado es 612,5.

El ácido sulfúrico monohidratado no es la única combinacion, en proporciones definidas, que el ácido sulfurico puede formar con el

agua. Si se añade á este ácido monohidratado un peso de agua igual al que contiene ya, resulta un segundo hidrato SO^3+2HO, que cristaliza en gruesos cristales, á una temperatura próxima á 0°; y estos cristales subsisten, miéntras la temperatura se mantiene inferior á +7 ó +8°. Sabemos que la cristalizacion indica siempre una combinacion definida. Es frecuente en los laboratorios observar dichos cristales en los frascos de ácido sulfúrico del comercio, el cual se halla rara vez en su máximo de concentracion, y, durante el invierno, parte de él se separa en forma de hidrato cristalizado SO^3+2HO.

Cuando se mezclan agua y ácido sulfúrico concentrado, el volúmen de la mezcla es siempre menor que la suma de los volúmenes de los líquidos mezclados; y se dice entonces que ha habido *contraccion*. Si v representa el volúmen del ácido concentrado, v' el del agua, y V el del líquido despues de la mezcla, la fraccion $\frac{V}{v+v'}$ será lo que se llama *fraccion de contraccion*, cuyo valor es un mínimo para la mezcla de ácido sulfúrico y agua, que corresponde á la fórmula SO^3+3HO. Esta circunstancia ha determinado á los químicos á considerar este hidrato como una tercera combinacion definida del ácido sulfúrico con el agua.

Si se calientan hasta la ebullicion los diversos hidratos de ácido sulfúrico, puestos en retortas tubuladas, provistas de un termometro, se observa que el hidrato SO^3+HO es el único que presenta un punto de ebullicion constante; los otros pierden su agua, y la temperatura va aumentando sucesivamente hasta llegar á 325°, que es el punto de ebullicion del ácido concentrado. El ácido SO^3+HO es por esta causa el único hidrato que destila sin alteracion.

§ 142. Se prepara en las artes un ácido sulfúrico particular, que se conoce con el nombre de *ácido sulfúrico fumante de Sajonia* ó *de Nordhausen*. Este ácido, cuya preparacion indicaremos muy pronto, consiste en una disolucion de ácido sulfúrico anhidro en el ácido monohidratado SO^3+HO. Cuando se calienta con precaucion, en una retorta de vidrio, ácido sulfúrico de Nordhausen, este se descompone en ácido sulfúrico anhidro, que se desprende en estado de vapor, y en ácido monohidratado, que queda en la retorta. Si se reciben estos vapores en un pequeño matraz de cuello largo, enfriado con una mezcla frigorífica, se condensan en forma de agujas largas, blancas y brillantes, formando masas parecidas al asbesto. El ácido sulfúrico anhidro se funde hácia los 25°, hierve entre 30° y 35°; y su vapor es incoloro. Es muy ávido de humedad; y por esta causa cuando se echa una pequeña porcion en el

agua, produce un ruido semejante al que ocasiona un hierro hecho ascua, al sumergirlo en este líquido. En efecto, la combinacion del ácido sulfúrico anhidro con el agua desprende una gran cantidad de calor; resultando de esto que, en el punto mismo en que el ácido sulfúrico anhidro toca al agua, se produce una temperatura bastante elevada para reducir al estado de vapor las partículas de agua que están próximas: este vapor es condensado inmediatamente por las capas contiguas de agua fria, y estas alternativas de produccion y condensacion de vapor son la causa de la especie de silbido que se oye en este caso. Lo mismo se verifica cuando se sumerge en el agua un cuerpo muy caliente, un hierro hecho ascua, por ejemplo. Si se deja caer una gota de agua en un frasco que contenga ácido sulfúrico anhidro, hay desprendimiento de luz acompañado de explosion.

El ácido sulfúrico anhidro esparce en el aire humos blancos muy espesos. Su vapor posee á la temperatura ordinaria una tension considerable, pues la temperatura del ácido se acerca entónces á 35°, punto de su ebullicion bajo la presion ordinaria de la atmósfera. Por el contrario, el ácido sulfúrico monohidratado SO^3HO no presenta en las mismas circunstancias una tension sensible de vapor. De aquí resulta que, cuando se deje expuesto al aire el ácido sulfúrico anhidro, esparcirá vapores muy abundantes, los cuales se combinarán inmediatamente con el vapor de agua de la atmósfera, produciendo ácido hidratado, que se precipitará completamente, bajo la forma de una niebla espesa. Del mismo modo hemos explicado (§ 107) la causa de los humos que produce en el aire el ácido nítrico monohidratado. Otro tanto se verifica respecto de todas las demas sustancias, gaseosas ó volátiles, que dan humos al aire.

§ 143. Puede prepararse inmediatamente el ácido sulfúrico anhidro, descomponiendo por el calor el bisulfato de sosa $NaO.2SO^3$, que suelta su ácido sulfúrico á una temperatura poco elevada para que se descomponga este ácido.

Se mezclan 3 partes de sulfato neutro de sosa, calcinado recientemente, y por lo tanto anhidro, con 2 de ácido sulfurico concentrado; se calientan gradualmente hasta el rojo sombrio. La materia se hincha por el pronto, al perder su agua, y despues se liquida. Se derrama el líquido sobre un plano de mármol, y se forman placas que se parten en pedazos, y se introducen inmediatamente en una retorta de barro, provista de un recipiente enfriado con hielo. Se calienta con precaucion: la mitad del acido sulfurico destila en estado de ácido anhidro, y se condensa en el recipiente.

El residuo que queda en la retorta es sulfato neutro de sosa, y puede tratársele otra vez por el ácido sulfúrico ordinario; sirviendo así indefinidamente para la preparacion del ácido sulfúrico anhidro.

Se obtiene tambien el ácido sulfúrico anhidro, haciendo pasar una mezcla de gas ácido sulfuroso y oxígeno por un tubo de porcelana, calentado hasta el rojo, y que contenga musgo de platino. Los gases oxígeno y ácido sulfuroso, que no ejercen recíprocamente accion ninguna, cuando pasan por un tubo de porcelana calentado, se combinan, si el tubo contiene platino muy dividido; sin que este metal sufra la mas ligera alteracion durante todo el experimento. Todavía encontramos aquí un nuevo ejemplo de esta influencia misteriosa é inexplicable hasta el dia, que la presencia de ciertos cuerpos ejerce por sí sola sobre las combinaciones ó descomposiciones químicas: influencia que hemos llamado (§ 96 *accion de presencia* ó *fuerza catalítica*.

Cuando se enfría el ácido de Nordhausen hasta una temperatura inferior á 0°, se forman cristales, que son de un hidrato con menos agua que el ácido sulfúrico monohidratado, y cuya fórmula es $2SO^3+HO$.

Los sulfatos de diversas bases, sometidos á la accion del calor, se conducen de muy diferente modo. Los sulfatos de bases muy enérgicas, como la potasa, sosa, barita y cal, no sufren alteracion ninguna, aun á las temperaturas mas elevadas. Los formados de bases mas débiles, como son los óxidos metálicos, se descomponen á una temperatura mas ó menos elevada; y, en general, el ácido sulfúrico es descompuesto entónces en ácido sulfuroso y en oxígeno: una porcion de este último gas suele combinarse con el óxido metálico, haciéndole pasar á un grado superior de oxidacion. Los sulfatos de algunos peróxidos, el peróxido de hierro por ejemplo, se descomponen á una temperatura tan baja, que el ácido sulfúrico puede escaparse sin descomposicion; y cabalmente en esta última propiedad se funda la preparacion del ácido sulfúrico de Nordhausen.

En muchas operaciones metalúrgicas, y sobre todo en el tratamiento de los minerales de cobre, se obtienen accidentalmente grandes cantidades de protóxido de hierro, que llaman en el comercio *vitriolo verde*. La fórmula de esta sal es

$$FeO.SO^3+7HO.$$

Mediante la accion del calor, el sulfato de hierro pierde desde luego 6 equivalentes de agua, y el que le resta no se desprende hasta una temperatura mas elevada. Aumentando la accion del

calor, el protóxido de hierro se convierte en peróxido á expensas del oxígeno del ácido sulfúrico, absorbiendo una cantidad de este gas igual á la mitad de la que contenia ya : la mitad del ácido sulfúrico se descompone, y pasa á ser ácido sulfuroso, que se desprende, quedando solo un subsulfato de peróxido de hierro $Fe^2O^3.SO^3$.

Esta reaccion se halla representada por la ecuacion siguiente :

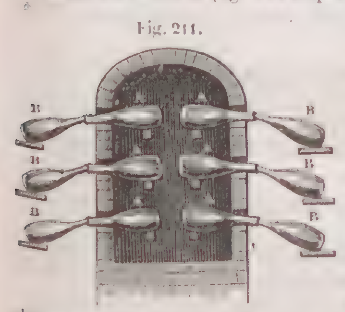
$$2(FeO.SO^3) = SO^2 + Fe^2O^3SO^3.$$

Fe^2O^3 es la fórmula del peróxido de hierro.

Si la temperatura se eleva algo mas, el subsulfato de peróxido de hierro se descompone á su vez : el ácido sulfúrico libre se marcha, y deja un residuo de peróxido de hierro. El sulfato de peróxido de hierro conserva un poco de agua en el momento de su descomposicion, de suerte que el ácido sulfúrico que se desprende no es completamente anhidro.

En el Hartz, donde se fabrica principalmente el ácido sulfúrico fumante, llamado *ácido sulfúrico de Nordhausen* (del nombre de la pequeña ciudad en que se encuentran los depósitos de este ácido), se calienta el vitriolo sobre una plancha de palastro en contacto del aire, hasta que haya perdido la mayor parte de su agua. Se le pone despues en vasos de barro A (fig. 211), que se colocan en tres filas sobre los dos costados de un horno de galera; conteniendo cada horno en esta disposicion hasta ciento y veinte. Se calienta con leña hasta que el ácido sulfúrico principie á desprenderse, lo cual se conoce fácilmente por los vapores espesos que produce en el aire, y se adaptan entónces á los primeros vasos A, que hacen el oficio de retortas, otros vasos B de igual forma, aunque algo mas chicos, y que sirven de recipientes. En estos últimos se vierte ácido sulfúrico concentrado ordinario, de mucho menos valor que el ácido fumante, y no se le considera convertido en ácido de Nordhausen, hasta despues de haberse concentrado en él los productos de cuatro destilaciones sucesivas. En tal estado se halla compuesto con corta diferencia de $\frac{1}{6}$ de ácido sulfúrico anhidro, y $\frac{5}{6}$ de ácido monohidratado.

Fig. 211.



Puede obtenerse en los laboratorios un ácido semejante al de Nordhausen. Para esto, se introduce en una retorta de tierra refrac-

taria peróxido de hierro del comercio, conocido con el nombre de *cólcotar*; se le humedece con ácido sulfúrico concentrado, y se destila en seguida. No se recogen los primeros productos, porque contienen mucha agua; y no así los últimos que son muy ricos en ácido sulfúrico anhidro.

§ 144. La preparacion en las artes del ácido sulfúrico monohidratado, que suele tambien llamarse *ácido sulfúrico inglés* ú *obtenido por el método inglés*, se funda en las reacciones siguientes, que ya hemos indicado anteriormente:

1° El deutóxido de azoe AzO^2, en contacto del aire en exceso, se trasforma en ácido hiponítrico AzO^4.

2° El ácido hiponítrico, en presencia de una pequeña cantidad de agua, se convierte en ácido nítrico monohidratado y en ácido nítroso:

$$2AzO^4 + HO = AzO^5.HO + AzO^3.$$

3° El ácido nitroso AzO^3 en contacto con una cantidad grande de agua, se cambia en ácido nítrico hidratado y en deutóxido de azoe:

$$3AzO^3 + nHO = AzO^5.nHO + 2AzO^2.$$

Por consiguiente el ácido hiponítrico, puesto en presencia de una gran cantidad de agua, se convertirá en ácido nítrico hidratado y en deutóxido de azoe:

$$6AzO^4 + nHO = 4AzO^5.nHO + 2AzO^2.$$

4° El ácido sulfuroso SO^2, en presencia del ácido nítrico hidratado $AzO^5.nHO$, pasa al estado de ácido sulfúrico, y trasforma al ácido nítrico en ácido hiponítrico:

$$SO^2 + AzO^5.nHO = SO^3.nHO + AzO^4.$$

El experimento siguiente nos hará ver todas las reacciones que se verifican en la fabricacion del ácido sulfúrico por el método inglés:

Háganse llegar simultáneamente al interior de un globo de vidrio A (fig. 212), lleno de aire y cuyas paredes se conserven bastante húmedas, gas ácido sulfuroso, que se obtiene por la accion, en caliente, del ácido sulfúrico concentrado sobre el cobre puesto en un matraz B; y gas deutoxido de azoe, que se produce en el frasco C, por la reaccion entre el cobre y el ácido nítrico diluido.

El deutóxido de azoe, mezclándose con el aire del globo A, se apodera de su oxígeno y se trasforma en acido hiponítrico AzO^4.

el cual, bajo la influencia de la humedad del globo, se convierte á sú vez, en ácido nítrico hidratado y en deutóxido de azoe. El ácido nítrico formado actúa sobre el ácido sulfuroso, haciéndole pasar al estado de ácido sulfúrico, y pasando el mismo al de ácido hiponítrico, que se descompone nuevamente, por el contacto del agua, en ácido nítrico y en deutóxido de azoe. El deutóxido de azoe de nueva formacion, volviéndose á encontrar aun en presencia del

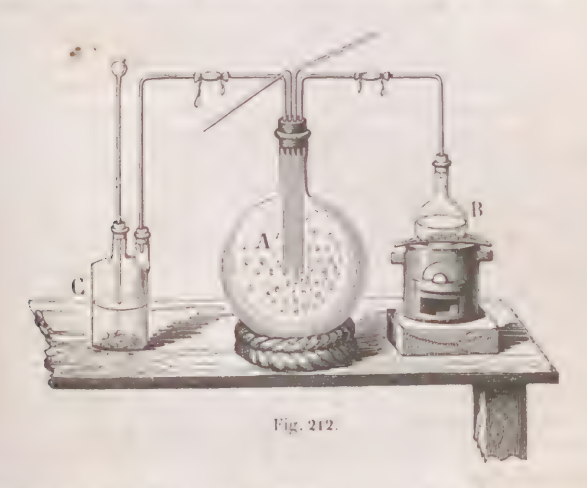


Fig. 212.

oxígeno del aire, se cambia en ácido hiponítrico, y esta sucesion de reacciones notables se prolonga así indefinidamente: de tal modo que, miéntras quede oxígeno en el globo, el mismo deutóxido de azoe podrá trasformar una cantidad indefinida de ácido sulfuroso en ácido sulfúrico. Se obtiene efectivamente este resultado, introduciendo por uno de los cuatro tubos adaptados al globo, una corriente lenta de gas oxígeno, que reemplace al que desaparece por la reaccion.

Es evidente ademas que el deutóxido de azoe puede sustituirse ventajosamente en este experimento con cualquiera de los compuestos de azoe mas oxigenados, por ejemplo, con el ácido nítrico ó hiponítrico.

Es necesario que haya mucho vapor de agua en el interior del globo, á fin de que todas estas reacciones se verifiquen conforme á lo que acabamos de explicar. El que se desprenderia espontáneamente de las paredes mojadas, á la temperatura ambiente, no

seria bastante, y siempre habrá necesidad de calentar el globo inferiormente con algunas ascuas.

Cuando hay menos agua de la necesaria, la reaccion es distinta. Supongamos primeramente que no exista agua en nuestro globo: los gases ácido sulfuroso é hiponítrico obrarán entónces con mucha dificultad uno sobre otro; sin embargo hemos visto (§ 137) que, cuando se mezclan las dos sustancias en el estado líquido dentro de un tubo, que seguidamente se cierra á la lámpara, la combinacion se efectúa al cabo de un cierto tiempo, y se forma un compuesto cristalizado que tiene por fórmula $AzO^3.2SO^3$. Si existe una pequeña cantidad de agua en la mezcla gaseosa, la reaccion se producirá con mucha mas energía, y dará orígen á un compuesto cristalizado, que viene á ser un hidrato de la combinacion precedente $AzO^3.2SO^3$. Este hidrato se forma constantemente en el globo, y se precipita sobre sus paredes en forma de pequeños copos cristalinos, si se cuida de no aumentar la temperatura interior, es decir, de dejar al vapor la débil tension que le corresponde á la temperatura ambiente. Estos cristales se forman tambien, muy á menudo, en la fabricacion en grande del ácido sulfúrico, y se les da el nombre de *cristales de las cámaras de plomo*. Con todo, no deben considerarse sinó como accidentales, y aun conviene evitar su formacion; pues no encontrando inmediatamente el agua necesaria á su descomposicion, se disuelven en el ácido sulfúrico, cuya pureza alteran, reteniendo ademas una porcion de ácido nitroso, que pudiera haber servido para trasformar en ácido sulfúrico una nueva cantidad de ácido sulfuroso.

Para la fabricacion en grande del ácido sulfúrico por el método inglés, se sustituye al globo de nuestro experimento una ó muchas

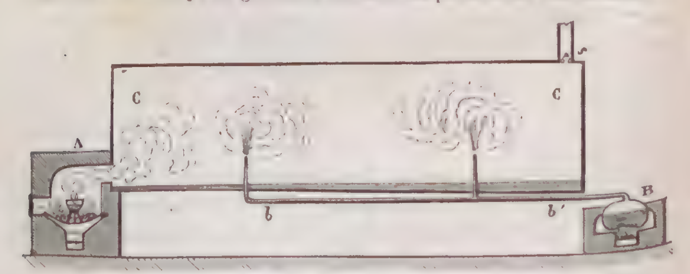


Fig. 213.

camaras C (fig. 213), cuyo armazon de madera se halla cubierto en su interior con láminas de plomo, que se sueldan tan íntima y

perfectamente como sea posible. El ácido sulfuroso se prepara en este caso, quemando el azufre en el aire atmosférico; y esta combustion se practica en un horno particular A, sobre una gran plancha de palastro dispuesta en forma de cápsula.

El horno tiene superiormente su lomo ó reverbero, y termina en un conducto ancho que dirige los gases al interior de la cámara de plomo. El compuesto oxigenado de azoe está formado de deutóxido de azoe, de vapores nitrosos y ácido nítrico. En algunas fábricas se pone nitrato de potasa en una pequeña marmita de hierro colado, dispuesta sobre el fondo de la cápsula en que arde el azufre. La marmita se calienta por este medio hasta una temperatura elevada, el ácido sulfuroso actúa sobre el nitrato de potasa, y le trasforma en sulfato, desprendiéndose al mismo tiempo deutóxido de azoe que penetra en la cámara de plomo, mezclado con ácido sulfuroso y con un exceso de aire atmosférico. Para que se produzca la reaccion que da orígen al ácido sulfúrico, basta inyectar en la cámara, bajo una fuerte presion, corrientes de vapor de agua, calentada para este efecto en una caldera B. El ácido sulfúrico hidratado cae entónces al suelo de la cámara en forma de lluvia. La cantidad de nitrato de potasa que se emplea es próximamente $\frac{1}{10}$ del azufre quemado. Una abertura practicada en la parte superior, y provista de una válvula *s*, da salida á los gases restantes; que im porta mucho se hallen despojados, tan completamente como sea posible, de ácido sulfuroso y óxido de azoe. Para esto es indispensable lo siguiente:

1° Las proporciones del nitro y azufre que se queman deben graduarse convenientemente.

2° La cantidad de vapor de agua que se introduce en las cámaras debe ser proporcionada al volúmen de gas sobre que se opera: pues si es demasiado pequeña, la reaccion se efectúa difícilmente, y se forman en abundancia cristales de las cámaras de plomo, que hacen perder productos nitrosos, y alteran la pureza del ácido sulfúrico. Si por el contrario es demasiado grande, se obtiene un ácido sulfúrico muy diluido, que exige gastos considerables para ser reducido á un estado conveniente de concentracion.

3° Es menester que las cámaras de plomo sean espaciosas, á fin de que los gases permanezcan en ellas mucho tiempo; y ademas debe dárseles una disposicion adecuada para que los gases se mezclen perfectamente. Con este objeto se hacen compartimientos por medio de láminas de plomo, agujereadas en su parte inferior; o bien, se disponen muchas cámaras á continuacion unas de otras, comunicándolas entre sí con tubos de plomo. Al interior de cada

una vienen á parar uno ó muchos chorros de vapor, que se gradúan segun convenga por medio de llaves. El azufre suele quemarse tambien en diferentes hornos, y se hace de modo que el ácido sulfuroso éntre en las cámaras por muchos puntos á la vez. Registros, convenientemente dispuestos, sirven para regular y hacer variar, segun se quiera, la cantidad de aire atmosférico que penetra en el aparato.

En muchas fábricas se reemplaza el deutóxido de azoe por el ácido nítrico. Se quema en los hornos el azufre solo, y la mezcla de aire atmosférico y ácido sulfuroso penetra en una primera cámara de cortas dimensiones, en la cual se depositan las materias extrañas arrastradas por la corriente gaseosa. Un tubo de plomo conduce los gases mezclados á una segunda cámara, por cuyo interior circula una corriente continua de ácido nítrico. Este ácido, contenido en vasos colocados al exterior, cae en unas cápsulas de porcelana dispuestas para formar cascada, y situadas delante y muy cerca del orificio del tubo que conduce la mezcla de ácido sulfuroso y aire. Esta corriente de gas caliente vaporiza el ácido nítrico, que al mismo tiempo es descompuesto por el ácido sulfuroso. Los gases, íntimamente mezclados, van pasando por las varias cámaras de plomo, donde se efectúa la reaccion principal en medio de las corrientes de vapor que entran simultáneamente por muchos puntos. En las paredes de estas cámaras se practican algunas aberturas pequeñas, que permiten ver el interior, y observar si la mezcla gaseosa contiene una cantidad conveniente de vapor nitroso; lo cual es necesario para graduar oportunamente la cantidad de ácido nítrico que debe correr por la cámara.

El azufre se reemplaza tambien, en muchas fábricas, con piritas de hierro, es decir, con un sulfuro de hierro FeS^2, que es muy abundante en la naturaleza, y por lo mismo mucho mas barato que el azufre. Estas piritas tostadas en un horno pierden azufre, que se convierte en ácido sulfuroso. Sin embargo, el ácido sulfurico así obtenido encierra un poco de ácido arsenioso, procedente de los arseniuros metálicos que acompañan casi siempre á las piritas de hierro.

La fabricacion del ácido sulfúrico por el método inglés se ha estendido mucho de algunos años á esta parte: los aparatos se han perfeccionado, obteniendo el doble resultado de aumentar considerablemente la produccion, y de disminuir en cantidad notable la dósis de nitro empleado en la fabricacion. La figura 214 representa un corte general del aparato perfeccionado que se usa en el dia. (Hemos supuesto, á fin de hacer mas inteligible la figura, que

todas sus partes están colocadas á continuacion unas de otras, lo cual no se verifica ordinariamente.)

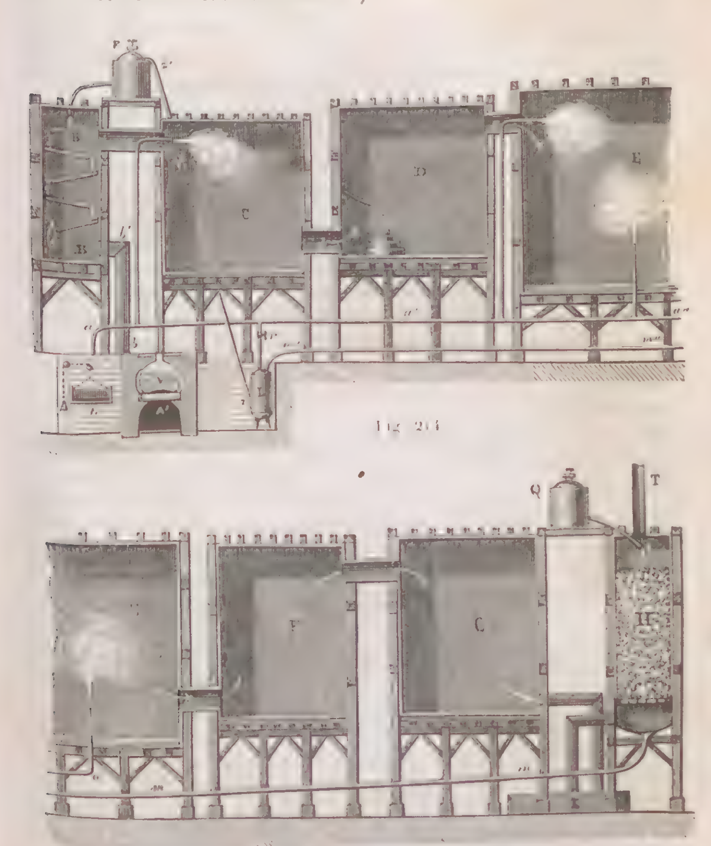


Fig. 204

A, A' son dos de los hornos en que se quema el azufre: estos hornos están apareados. (Uno de ellos A' se supone cortado en la figura, para hacer ver su disposicion interior.) El azufre arde sobre una plancha grande de palastro; y el calor producido por esta combustion se aprovecha para formar la cantidad de vapor de agua necesario á la reaccion en las cámaras de plomo. Al efecto se coloca en cada horno una caldera V, inmediatamente encima del suelo

sobre que arde el azufre. Un tubo *a a' a''* dirige este vapor á las diversas cámaras.

Los dos hornos comunican con una misma chimenea *bb'*, cuya altura debe ser lo menos de 6 à 7 metros, á fin de que los gases adquieran una fuerza ascencional bastante grande para atravesar las diversas partes del aparato. La chimenea *bb'* conduce la mezcla de gas ácido sulfuroso y aire atmosférico á un tambor de plomo BB, en el que se hallan dispuestas varias láminas del mismo metal, formando planos inclinados en sentido contrario unos de otros. Sobre la lámina superior cae un chorro continuo, y regulado convenientemente, de un ácido sulfúrico concentrado y muy cargado de productos nitrosos, cuyo orígen indicaremos mas adelante. Este ácido, contenido en el vaso R, se esparce al caer, formando anchas cascadas sobre las diferentes láminas, y se reúne en el fondo del tambor. Una parte de los productos nitrosos obra sobre el ácido sulfuroso, trasformándolo en ácido sulfúrico, y el resto se desprende, en estado de gas, en medio de la mezcla gaseosa de ácido sulfuroso y aire atmosfério.

Del tambor BB van á salir los gases, por el tubo de fundicion *c*, á una pequeña cámara de plomo C, de 100 metros cubicos próximamente de capacidad, á la cual se da el nombre de *denitrificador*. Se inyecta, bajo una fuerte presion, en la cámara C, por la desembocadura misma del tubo *c*, una corriente de vapor que suministra el agua necesaria para la reaccion de los gases nitrosos sobre el oxígeno y el ácido sulfuroso. El ácido sulfúrico producido cae en el suelo de la cámara C.

Los gases pasan en seguida, por el tubo *d*, á una segunda cámara D, que tiene con poca diferencia las mismas dimensiones que la primera. Delante del orificio del tubo *d*, se ha colocado una pieza de arcilla cocida, en forma de grada circular, que produce una cascada al caer sobre su cúspide un chorrito continuo de ácido nítrico, que se regula convenientemente. (Este ácido se halla contenido en vasos colocados fuera de la cámara, que no se ven representados en nuestra figura.) El ácido nítrico es descompuesto; se forma ácido sulfúrico, y los vapores nitrosos, producidos por la reaccion, se mezclan con el ácido sulfuroso y el aire atmosférico. El ácido sulfúrico, que se obtiene muy cargado de compuestos nitrosos, se derrama por el suelo de la cámara D, y de aquí, por un pequeño tubo, va á parar á la cámara C, donde se encuentra en contacto con gases que tienen mucho ácido sulfuroso, y que le quitan por consiguiente sus productos nitrosos. El suelo de la cámara D se dispone, para el efecto, un poco mas alto que el de la cámara C.

Los gases se dirigen inmediatamente por el tubo *e* á una espaciosa cámara E, en la cual se efectúa principalmente la reaccion entre los gases sulfuroso, nitroso y oxígeno, porque permanecen en ella mucho tiempo. Entran en esta cámara corrientes de vapor por muchos puntos á la vez. El ácido sulfúrico producido se va acumulando en el suelo, que recibe juntamente el ácido sulfúrico *denitrificado* de la cámara C, cuyo suelo se halla con este objeto algo mas elevado que el de la cámara E. Frecuentemente en lugar de una gran cámara E, se colocan varias, mas chicas y á continuacion unas de otras.

Los gases, al salir de la cámara E, no pueden perderse todavía, pasando directamente á la atmósfera; pues, como la temperatura es muy elevada en el interior de esta cámara, una porcion bastante considerable de ácido sulfúrico se encuentra en estado de vapor, y ademas los gases contienen aun productos nitrosos, de que es menester despojarles para economizar así el consumo de ácido nítrico.

Se hace pues que los gases, al salir de la cámera E, pasen por dos tambores de plomo F, G, que sirven de refrigerantes, y en los cuales hay dispuestas láminas inclinadas, á fin de interrumpir la corriente gaseosa, y facilitar de este modo el deposito de los vapores. Los gases marchan de aquí á un tercer refrigerante I, enfriado con agua; y finalmente, llegan á un último tambor de plomo H, que absorbe los compuestos nitrosos, y se esparcen en la atmósfera por el tubo T.

El tambor H se llena de fragmentos gruesos de cok, sostenidos con un diafragma *s*, por los cuales pasa una corriente continua de ácido sulfúrico concentrado, que sale de un vaso Q. Este ácido absorbe los vapores nitrosos, y baja, por el tubo de plomo inclinado $m\,m'\,m''$, hasta el vaso L. Este es el ácido sulfúrico concentrado y cargado de productos nitrosos que vuelve á subir al vaso R, para caer en el tambor BB donde se denitrifica. Por una disposicion muy sencilla, y empleada con frecuencia en las fábricas, puede elevarse fácilmente este ácido del vaso L hasta el R; y es la siguiente: la parte superior del vaso R comunica con la inferior del L por medio del tubo $z\,z'$, y ademas el vaso L comunica superiormente, por un tubo con su llave *r*, con el tubo general $a\,a'\,a''$. Para que ascienda el líquido desde el vaso L hasta el R, basta abrir la llave *r*; con lo cual la presion del vapor en la caldera, presion que es siempre de muchas atmósferas, se ejerce sobre la superficie del líquido L, y le hace subir hasta el nivel R. Se cierra la llave *r*, cuando queda lleno el vaso superior.

Con la disposicion que acabamos de describir, se ha conseguido reducir á la mitad la dósis de ácido nítrico necesaria para convertir

en ácido sulfúrico un peso determinado de azufre. En los antiguos aparatos, el consumo era de 8 de ácido nítrico por 100 de azufre; en los modernos, se consume solamente un 4 ó 5 de ácido por 100 de azufre.

§ 145. La disolucion del ácido sulfúrico, tal como sale de las cámaras de plomo, presenta una densidad variable entre 1,35 y 1,50. Se la concentra en calderas de plomo hasta que adquiera una densidad de 1,75 con corta diferencia. Su punto de ebullicion se encuentra entónces entre 200 y 210°. No se puede llevar mas adelante la concentracion del ácido en calderas de plomo, porque este metal seria atacado, y es menester acabarla en una retorta grande de platino, en la cual se reduce el líquido al estado de ácido sulfúrico monohidratado, que tiene por densidad 1,85, y hierve á 325°.

Acido hiposulfúrico, S^2O^5.

§ 146. Si se deja en contacto, á la temperatura ordinaria, una disolucion de ácido sulfuroso con peróxido de manganeso, el ácido sulfuroso pierde al poco tiempo su olor característico, y el líquido contiene hiposulfato de protóxido de manganeso. 2 equivalentes de ácido sulfuroso se combinan con 1 equivalente de oxígeno desprendido del peróxido de manganeso, que pasa al estado de protóxido. Se tiene

$$MnO^2+2SO^2=MnO.S^2O^5.$$

Si, por el contrario, se hace pasar la corriente de ácido sulfuroso por agua *calentada* que contenga en suspension peróxido de manganeso muy dividido, el gas será todavía absorbido; pero la reaccion se verifica entre un equivalente de peróxido de manganeso y otro de ácido sulfuroso, formándose sulfato de protóxido de manganeso:

$$MnO^2+SO^2=MnO.SO^3.$$

Se ve que la reaccion es distinta segun la temperatura.

Para preparar el ácido hiposulfúrico en los laboratorios, se pone en suspension en el agua peróxido de manganeso muy dividido, y se hace pasar por el líquido una corriente de gas ácido sulfuroso. Las dos reacciones que acabamos de indicar se verifican simultaneamente, es decir que se forman á un tiempo sulfato é hiposulfato de manganeso. Se filtra el líquido, y se le descompone por una disolucion de barita cáustica, que precipita el protóxido de manganeso, y forma sulfato é hiposulfato de barita. El sulfato de barita es completamente insoluble en el agua, y se precipita con el oxido de

manganeso, de suerte que en la disolucion queda solo el hiposulfato de barita, que cristaliza por evaporacion.

Se disuelve nuevamente el hiposulfato de barita en el agua, y se añade con precaucion ácido sulfúrico diluido, hasta que por la adicion de una nueva gota de reactivo no se enturbie el líquido. La barita se precipita completamente en estado de sulfato, y en la disolucion no queda mas que ácido hiposulfúrico. Se evapora esta disolucion bajo de la campana de la máquina neumática, y se concentra suficientemente. La evaporacion no puede hacerse en caliente: pues, cuando el líquido se halla un poco concentrado, el ácido hiposulfúrico se descompone por la accion del calor en ácido sulfuroso y en ácido sulfúrico.

Pueden obtenerse, por doble descomposicion, los diversos hiposulfatos, valiéndose del sulfato de barita. Basta echar con cuidado, en la disolucion del hiposulfato de barita, otra disolucion dilatada del sulfato de la base que se desee combinar con el ácido hiposulfúrico, hasta que ya no se forme precipitado. La barita se separa de este modo en estado de sulfato, quedando disuelto el hiposulfato, que puede hacerse cristalizar.

§ 147. La composicion del ácido hiposulfúrico se determina fácilmente por medio del análisis del hiposulfato de barita.

Se calcina un peso conocido (5 gramos) de hiposulfato de barita anhidro. Esta sal se descompone; se desprende ácido sulfuroso, y queda por residuo sulfato neutro de barita, cuya composicion conocemos. Se le pesa exactamente, y por este peso se deduce que 100 partes de hiposulfato de barita contienen

Barita....................	51,56
Acido hiposulfúrico.........	48,44
	100,00;

ó, refiriendo esta composicion al peso 958,0 de barita, que representa el equivalente de esta base,

Barita....................	958,0
Acido hiposulfúrico..........	900,0
	1858,0.

Si el hiposulfato de barita es una sal neutra, y el ácido hiposulfúrico un ácido monobásico, el peso 900 debe representar el equivalente del ácido hiposulfúrico, y ser igual á la suma de los equivalentes de sus elementos constitutivos. Ahora bien, el número 900,0

se obtiene sumando 2 equivalentes de azufre con 5 de oxígeno: la composicion del ácido hiposulfúrico será pues

2 eq.	azufre............	400,0	44,44
5 »	oxígeno........	500,0	55,56
1 »	ácido hiposulfúrico.	900,0	100,00.

Puede comprobarse esta composicion por un análisis directo. En efecto tomemos 5 gramos de hiposulfato de barita seco, y tratémosle por el ácido nítrico concentrado é hirviendo; el ácido hiposulfúrico será trasformado en ácido sulfúrico, del cual la mitad solamente se hallará saturada por la barita. Pero, si se vierte en la disolucion cloruro de bario, todo el ácido sulfúrico se precipitará en estado de sulfato de barita. Hallaremos que el peso del sulfato de barita obtenido es justamente doble del que se ha encontrado por la calcinacion del hiposulfato.

Resultará de aquí, que 100 de hiposulfato de barita contienen

Azufre....................	21,53
Oxígeno..................	26,91
Acido hiposulfúrico..........	48,44.

Acido hiposulfuroso, S^2O^2.

§ 148. Este ácido no ha sido aislado hasta ahora, y únicamente se le conoce combinado con las bases.

Se obtienen los hiposulfitos en muchas circunstancias.

Cuando se hace hervir una disolucion de sulfito de sosa, ó de otro sulfito, con flores de azufre en exceso, se ve que una gran cantidad de azufre se disuelve, y el sulfito de sosa, $NaO.SO^2$, se convierte en hiposulfito, $NaO.S^2O^2$. Esta sal cristaliza fácilmente.

Si se vierte ácido clorhídrico en una disolucion muy fria de hiposulfito de sosa, el líquido no se enturbia en los primeros instantes; pero se forma prontamente un precipitado de azufre, y se desprende ácido sulfuroso.

Se obtienen aun hiposulfitos en otras circunstancias.

Un pedazo de zinc desaparece en una disolucion de ácido sulfuroso, sin desprendimiento de gas hidrógeno. La oxidacion se efectúa á expensas de una porcion del oxígeno del ácido sulfuroso, que pasa al estado de ácido hiposulfuroso, y el líquido contiene una mezcla de sulfito y de hiposulfito de zinc: en efecto,

$$2Zn + 3SO^2 = ZnO.S^2O^2 + ZnO.SO^2.$$

Las disoluciones de sulfuros alcalinos, expuestas al aire, absorben prontamente oxígeno y se trasforman en hiposulfitos.

Cuando se hacen hervir disoluciones de potasa, sosa, barita, con un exceso de azufre, se obtienen hiposulfitos mezclados con sulfuros saturados de azufre; y así con la potasa se tiene la reaccion siguiente:

$$3KO+12S=2KS^5+KO.S^2O^2.$$

§ 149. Se determina la composicion del ácido sulfuroso por medio del análisis del hiposulfito de barita.

Se tratan 10 gramos de hiposulfito de barita seco por el ácido nítrico concentrado é hirviendo, el cual convierte la sal en sulfato de barita, que se pesa exactamente.

Se deduce que 100 partes de hiposulfito de barita contienen

Barita.	61,48
Acido hiposulfuroso.........	38,52
	100,00,

ó, en equivalentes,

1 eq. barita..........................	958,0
1 » ácido hiposulfuroso..............	600,0
1 » hiposulfito de barita..........	1558,0.

La composicion del ácido hiposulfuroso será pues:

2 eq. azufre.................	400,0	66,66
2 » oxígeno..............	200,0	33,34
1 » ácido hiposulfuroso.....	600.0	100,00.

Esta composicion puede comprobarse por un análisis igual al que hemos descrito (§ 147).

Acido hiposulfúrico monosulfurado, S^3O^5.

§ 150. El ácido hiposulfúrico monosulfurado se obtiene en las circunstancias siguientes: se satura una disolucion de barita con un exceso de ácido sulfuroso, y se obtiene de este modo un bisulfito de barita, que se pone en digestion con flores de azufre, y se le deja así durante muchos dias, á una temperatura de 50° poco mas ó menos. El líquido se tiñe primero de amarillo, y despues se descolora. Por el enfriamento se deposita una sal cristalizada en largas agujas blancas, que es el hiposulfito monosulfurado de barita. Echando con precaucion ácido sulfúrico en la disolucion de esta sal, se aisla

el ácido hiposulfúrico monosulfurado, y su disolucion puede concentrarse bajo de la campana de la máquina neumática; pero se descompone fácilmente, por la accion del calor, en ácido sulfuroso y en azufre.

El análisis del ácido hiposulfúrico monosulfurado se hace de la misma manera que el de los compuestos precedentes: se encuentra que su equivalente es 1100,0 y que contiene:

3 eq. azufre....	600,0	54,54
5 » oxígeno...	500,0	45,46
	1100,0	100,00.

Acido hiposulfúrico bisulfurado, S^4O^5.

§ 151. Este compuesto se obtiene disolviendo iodo en una disolucion de hiposulfito de barita, y hé aquí la reaccion que lo produce.

$$2(BaO.S^2O^2)+Io=IoBa+BaO.S^4O^5.$$

El líquido contiene ioduro de bario y la sal de barita formada por el nuevo ácido. Esta sal, menos soluble que el ioduro de bario, se separa por cristalizacion; y para aislar el ácido, se la descompone por una cantidad conveniente de ácido sulfúrico. La disolucion de ácido hiposulfúrico bisulfurado puede concentrarse en el vacío, pues se descompone por la ebullicion.

Se determina la composicion de este cuerpo por el análisis de la sal de barita. Se halla de este modo, que su equivalente es 1300,0 y su composicion la siguiente:

4 eq. azufre....	800,0	61,54
5 » oxígeno...	500,0	38,46
	1300,0	100,00.

Acido hiposulfúrico trisulfurado, S^5O^5.

§ 152. El ácido hiposulfúrico trisulfurado se forma cuando se descomponen los cloruros de azufre por una disolucion de ácido sulfuroso, ó aun por el agua pura; pero la reaccion que le da orígen, no ha sido bien estudiada todavía. Este ácido forma con la barita una sal que cristaliza, y por el análisis de esta sal se deduce la composicion del ácido.

El ácido hiposulfúrico trisulfurado se compone de

5 eq. azufre....	1000,0	66,67
5 » oxígeno...	500,0	33,33
	1500,0	100,00.

Es digno de notarse que la composicion del ácido hiposulfúrico trisulfurado es idéntica á la del ácido hiposulfuroso. Estos ácidos son *compuestos isoméricos*. Pero sus sales tienen composiciones muy diferentes, pues las cantidades de bases que dichos ácidos saturan, guardan entre sí la razon de 5 : 2.

Recapitulacion de las combinaciones del azufre con el oxigeno. Equivalente del azufre.

§ 153. Las siete combinaciones del azufre con el oxígeno, que acabamos de estudiar, presentan las composiciones siguientes:

Acido hiposulfuroso............	Azufre...	66,66
	Oxígeno..	33,34
		100,00
Acido hiposulfúrico trisulfurado..	Azufre...	66,66
	Oxígeno..	33,34
		100,00
Acido hiposulfúrico bisulfurado...	Azufre...	61,54
	Oxígeno..	38,46
		100,00
Acido hiposulfúrico monosulfurado.	Azufre...	54,54
	Oxígeno..	45,46
		100,00
Acido sulfuroso................	Azufre...	50,00
	Oxígeno..	50,00
		100,00
Acido hiposulfúrico............	Azufre...	44,44
	Oxígeno..	55,56
		100,00
Acido sulfúrico................	Azufre...	40,00
	Oxígeno..	60,00
		100,00.

Refiriendo la composicion de estos diferentes cuerpos á una misma cantidad, 100 de azufre, hallaremos:

Acido hiposulfuroso.............	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	50,00
		150,00
Acido hiposulfúrico trisulfurado...	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	50,00
		150,00
Acido hiposulfúrico bisulfurado...	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	62,50
		162,50
Acido hiposulfúrico monosulfurado.	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	83,33
		183,33
Acido sulfuroso..................	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	100,00
		200,00
Acido hiposulfúrico	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	125,00
		225,00
Acido sulfúrico..................	Azufre...	100,00
	Oxígeno..	150,00
		250,00.

Comparando las cantidades de oxígeno combinadas con un mismo peso de azufre, encontraremos que guardan entre sí las relaciones de los números

$$1 : 1 : \tfrac{5}{4} : \tfrac{5}{3} : 2 : \tfrac{5}{2} : 3.$$

Supongamos que la combinacion menos oxigenada, el ácido hiposulfuroso, esté formada de 1 equivalente de azufre y 1 equivalente de oxígeno $=100$. Es claro que obtendremos el equivalente del azufre, estableciendo la proportion:

$$50,00 : 100,00 :: 100 : x, \quad \text{de donde} \quad x = 200,$$

El ácido hiposulfuroso tomará, pues, la fórmula. SO
El ácido hiposulfúrico trisulfurado............ SO
El ácido hiposulfúrico bisulfurado............ $SO^{\frac{5}{4}}$
El ácido hiposulfúrico monosulfurado......... $SO^{\frac{5}{3}}$
El ácido sulfuroso........................ SO^2
El ácido hiposulfúrico...................... $SO^{\frac{5}{2}}$
El ácido sulfúrico........................ SO^3.

Si las fórmulas que acabamos de escribir expresan realmente los equivalentes de estos diversos ácidos, los valores numéricos de estos equivalentes, esto es, los pesos de los ácidos que se combinan con un equivalente de base para formar una *sal neutra anhidra,* serán los siguientes :

Acido hiposulfuroso.................... 300,0
Acido hiposulfúrico trisulfurado.......... 300,0
Acido hiposulfúrico bisulfurado........... 325,0
Acido hiposulfúrico monosulfurado......... 366,7
Acido sulfuroso........................ 400,0
Acido hiposulfúrico..................... 450,0
Acido sulfúrico........................ 500,0.

Ahora bien, hemos visto, por la experiencia directa, que los pesos de estos diversos ácidos que se combinan con 1 equivalente de base, por ejemplo, con el peso 958,0 de barita, para formar sales neutras anhidras, son :

Acido hiposulfuroso.................... 600,0
Acido hiposulfúrico trisulfurado.......... 1500,0
Acido hiposulfúrico bisulfurado........... 1300,0
Acido hiposulfúrico monosulfurado......... 1100,0
Acido sulfuroso........................ 400,0
Acido hiposulfúrico..................... 900,0
Acido sulfúrico........................ 500,0.

Así pues, la experiencia directa nos enseña que los equivalentes del ácido sulfuroso y del ácido sulfúrico son en efecto los que hemós admitido por hipótesis; pero tambien nos dice, que no sucede lo mismo respecto de los otros ácidos. Los equivalentes de los ácidos hiposulfuroso é hiposulfúrico son duplos de los que les hemos supuesto, el del ácido hiposulfúrico monosulfurado es triplo, el del ácido hiposulfúrico bisulfurado es cuádruplo; y por último, el equivalente del ácido hiposulfúrico trisulfurado es 5 veces mayor del que le hemos asignado por hipotesis.

Las fórmulas de estas diversas combinaciones serán segun esto las siguientes :

Acido hiposulfuroso........................	S^2O^2
Acido hiposulfúrico trisulfurado............	S^3O^5
Acido hiposulfúrico bisulfurado.............	S^4O^5
Acido hiposulfúrico monosulfurado...........	S^5O^5
Acido sulfuroso.............................	SO^2
Acido hiposulfúrico.........................	S^2O^5
Acido sulfúrico.............................	SO^3.

El número 200,0, que adoptaremos por *equivalente* del azufre, goza pues la propiedad de representar la composicion de las numerosas combinaciones del azufre con el oxígeno, por medio de fórmulas enteras *las mas sencillas que pudieran darse*. Ademas, los valores numéricos de los equivalentes de estas combinaciones calculados segun dichas fórmulas, son iguales á los que se obtienen, determinando por la experiencia los pesos que han de tomarse de estos compuestos para formar *sales neutras anhidras* con 1 equivalente de base.

Veremos en lo sucesivo, que este peso 200,0 de azufre, elegido por equivalente, dará para todas las otras combinaciones del azufre fórmulas muy sencillas, que satisfarán tambien, cuando dichas combinaciones sean ácidas, á la segunda condicion que acabamos de indicar.

En la teoría atómica, se supone que 1 átomo de ácido sulfuroso se halla compuesto de 1 átomo de azufre y 2 de oxígeno; y que 1 átomo de ácido sulfúrico se forma de 1 átomo de azufre y 3 de óxígeno.

Las fórmulas atómicas de las combinaciones del azufre con el oxígeno vendrán á ser idénticas á las expresadas en equivalentes, y el peso del átomo del azufre será igual á 200.

COMBINACIONES DEL AZUFRE CON EL HIDROGENO.

Acido sulfhídrico, HS.

§ 154. El azufre y el hidrógeno no se combinan entre sí directamente, aun cuando se les haga pasar por un tubo de porcelana calentado hasta el rojo; pero se obtiene una combinacion gaseosa de estos dos cuerpos, descomponiendo ciertos sulfuros metálicos por el ácido sulfúrico dilatado en agua. El sulfuro que ordinaria-

mente se emplea en los laboratorios es el protosulfuro de hierro. La reaccion es la siguiente:

$$FeS + SO^3 + HO = FeO.SO^3 + HS.$$

Se hace uso del mismo aparato que para la preparacion del gas hidrógeno. Se introduce en un frasco bitubulado (fig. 215) el sulfuro de hierro en pedazos, y se vierte encima una cierta cantidad de agua. Se echa el ácido sulfúrico, poco á poco y á proporcion que haga falta, por el embudo en que termina el tubo.

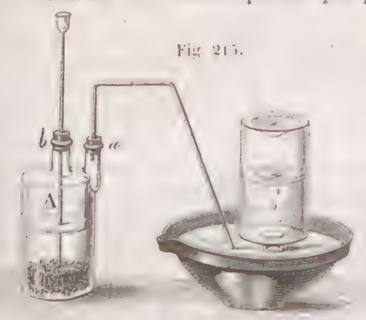


Fig. 215.

Puede reemplazarse el ácido sulfúrico diluido con ácido clorhídrico, y la reaccion será en este caso la siguiente:

Sulfuro de hierro........	Azufre......... Hierro.........	Acido sulfhídrico.
Acido clorhídrico........	Hidrógeno ..... Cloro	Cloruro de hierro.

$$FeS + HCl = FeCl + HS.$$

El sulfuro de hierro que se emplea en los laboratorios para obtener el ácido sulfhídrico, se prepara expresamente para este uso; pero contiene á menudo pequeñas cantidades de hierro metálico que, en contacto del ácido sulfúrico diluido ó del ácido clorhídrico, desprende hidrógeno. El gas ácido sulfhídrico se halla entonces mezclado con gas hidrógeno, el cual para muchas operaciones no ofrece inconveniente alguno; pero en el caso contrario habria que preparar el gas ácido sulfhídrico, tratando el sulfuro de antimonio por el ácido clorhídrico. El sulfuro de antimonio es un producto natural que se encuentra con bastante abundancia en algunos filones, y solo es atacable por los ácidos concentrados. No puede emplearse en este caso el ácido sulfúrico, porque si está dilatado en agua, no ataca al sulfuro de antimonio, y concentrado, descompone el gas sulfhídrico á proporcion que se va formando. Para preparar el ácido sulfhídrico valiéndose del sulfuro de antimonio, se introduce este sulfuro, reducido á polvo fino, en un matraz (fig. 216), y se añade

sucesivamente ácido clorhídrico por el tubo en S. Se calienta con un poco de carbon, á fin de acelerar el desprendimiento de gas.

Fig. 216.



§ 155. El ácido sulfhídrico es un gas incoloro, dotado de un olor muy fétido, el de los huevos podridos. Su densidad es 1,1912. Se liquida bajo una presion de 15 á 16 atmósferas á la temperatura ordinaria, constituyendo entónces un líquido muy movible, que tiene por densidad 0,9.

Para obtener el ácido sulfhídrico líquido, se pone en comunicacion el aparato que desprende el gas, con el tubo de aspiracion de una bomba de gas, aspirante é impelente, cuyo segundo tubo comunique con un pequeño matraz A (fig. 217), de paredes gruesas y sumergido en una mezcla frigorífica. El gas llena el cuerpo de bomba, al subir el émbolo, y al bajar, es impelido por él hácia el interior del matraz. Se regula el número de golpes de émbolo segun la cantidad de ácido sulfhídrico que se desprenda del aparato. El gas comprimido se liquida en el matraz; y así que este se ha llenado hasta los tres cuartos, es menester cerrar el tubo herméticamente. Como para esta operacion, no es posible ya fundir el tubo á la lámpara, por ser la presion interior en el aparato mayor que la exterior, se recurre al artificio siguiente: el tubo *ac* soldado á la bola A, se compone de una parte estrecha *ab* y de otra mas ancha *bc*; en esta última se ha metido una bolita de un betun apropiado, ántes de adaptar este tubo al de la bomba. Esta bolita no interrumpe el paso del gas, y, para cerrar herméticamente el aparato, basta derretirla, y en seguida dar un golpe de émbolo, para introducir el betun fundido en el tubo estrecho *ab*, el cual quedará cerrado cuando aquel se solidifique.

c b a A

Fig. 217.

Se obtiene tambien el ácido sulfhídrico líquido, abandonando á una descomposicion espontánea, en un vaso cerrado, la segunda combinacion del azufre con el hidrógeno, que pronto daremos á co-

nocer bajo el nombre de *bisulfuro de hidrógeno*. Se introduce una cierta cantidad de este bisulfuro líquido en un tubo encorvado, y dispuesto como representa la figura 218, que despues se cierra á la lámpara por la parte *b*. El bisulfuro se descompone espontáneamente en azufre, que se deposita en forma de cristales, y en gas ácido sulfhídrico, que se acumula en el espacio vacío del aparato, donde se liquida por el esfuerzo de su misma presion. Para aislar el ácido sulfhídrico del azufre depositado, basta enfriar con una mezcla refrigerante la parte encorvada *cd* (fig. 219): el ácido sulfhídrico destila y se reúne en *d*.

Fig. 218.

Fig. 219.

El ácido sulfhídrico es uno de los gases mas venenosos que se conocen; y es suficiente la presencia de $\frac{1}{1200}$ de este gas en el aire para matar un pájaro, y la de $\frac{1}{100}$ para dar la muerte á un perro. Los obreros que trabajan en sacar los pozos de inmundicias, se hallan frecuentemente expuestos á la asfixia que produce este gas. Se la combate por el cloro, que descompone al ácido sulfhídrico, si bien debe administrarse con precaucion. Lo mejor en semejantes casos es servirse, para hacer respirar al enfermo, de un paño mojado en ácido acético, y que envuelva ademas algunos fragmentos de cloruro de cal.

Este gas se descompone parcialmente por la accion del calor en hidrógeno y azufre; pero, para obtener una descomposicion completa, es necesario que pase repetidas veces por un tubo de porcelana calentado fuertemente.

El gas sulfhídrico es combustible, y arde en el aire con una llama azul, resultando de su combustion agua y gas ácido sulfuroso. Cuando se halla encerrado en una probeta, y se le inflama, el azufre no arde completamente, y se precipita en parte sobre las paredes del vaso.

Dejando abandonada una mezcla de gas sulfhídrico y de aire, encerrada en un gran frasco, y en contacto con un cuerpo poroso, sobre todo con lienzo, bajo la influencia ademas de una temperatura de 40 ó 50°, se forma con el tiempo una cantidad notable de ácido sulfúrico. Esta reaccion es interesante, porque explica la formacion del ácido sulfúrico y de los sulfatos en los parajes donde se desprende hidrógeno sulfurado.

El oxígeno, disuelto en el agua, descompone lentamente el ácido sulfhídrico, se forma agua, y se precipita azufre muy dividido, que pone lechoso el líquido. Por lo mismo, para conservar una disolu-

cion de ácido sulfhídrico, conviene tenerla en frascos bien tapados, llenos enteramente y vueltos boca á bajo.

Se ve que el gas sulfhídrico da productos de combustion diferentes, segun las circunstancias en que la oxidacion se verifique: por una combustion activa da agua y ácido sulfuroso; en contacto de un cuerpo poroso, y á una temperatura de 40 á 50°, produce agua y ácido sulfúrico; por último, disuelto en el agua y en presencia del aire, origina agua tambien, y azufre que se precipita.

El cloro, iodo y bromo descomponen inmediatamente el ácido sulfhídrico, resultando de aquí azufre y ácidos clorhídrico, iodhídrico y bromhídrico. Si el cloro, iodo y bromo se encuentran en exceso, se combinan con el azufre libre, y forman cloruro, ioduro y bromuro de azufre. De esta propiedad se saca partido para preparar el ácido iodhídrico en disolucion.

El gas sulfhídrico es un verdadero ácido: enrojece la tintura de tornasol, pero solo como lo hacen los ácidos débiles, es decir, que no produce mas que el *rojo vinoso;* al paso que los ácidos enérgicos, tales como el nítrico y el sulfúrico, dan un color rojo, característico, mucho mas intenso. Sus propiedades ácidas, segun se ve, no se manifiestan sino débilmente, y por eso suele dársele el nombre de gas hidrógeno sulfurado (§ 57).

El agua disuelve 2 ½ á 3 veces su volúmen de gas ácido sulfhídrico, y esta disolucion se prepara con un aparato de Woolf, teniendo cuidado de poner en los frascos agua recientemente hervida, y por consecuencia privada de aire. Calentando la disolucion, todo el gas retenido en ella se desprende. El alcohol disuelve 5 á 6 veces su volúmen de ácido sulfhídrico.

Se emplea mucho en los laboratorios la disolucion de ácido sulfhídrico para precipitar de sus disoluciones salinas, en estado de sulfuros, un crecido número de metales. Estos sulfuros, en general insolubles, poseen con frecuencia colores característicos, que bastan para reconocer los metales á que pertenecen. Así con la disolucion de ácido sulfhídrico, pueden descubrirse hasta las porciones mas ténues de óxido de plomo que existan en un líquido, por la coloracion parda ó negra que produce. Recíprocamente, las sales de plomo servirán para poner en claro cantidades muy leves de ácido sulfhídrico. Suelen emplearse con este objeto, en los laboratorios, pequeñas tiras de papel humedecidas en una disolucion de acetato de plomo. Estas tiras, blancas desde luego, se ennegrecen tan pronto como se las sumerge en un líquido que conserve solo un ligero resto ó señal de ácido sulfhídrico, ó cuando, despues de mojadas un

poco, se las deja expuestas al aire en el que haya una pequeñísima cantidad de aquel gas.

Se encuentran en la naturaleza algunas aguas minerales que contienen ácido sulfhídrico, las cuales se utilizan en medicina, y se las conoce con el nombre de *aguas sulfurosas*.

§ 156. No puede analizarse el ácido sulfhídrico descomponiéndole por el potasio, en una campana encorvada, como suele practicarse para otras combinaciones del hidrógeno con los metaloides, para el ácido clorhídrico, por ejemplo (§ 191). Aun cuando el potasio descomponga bien al gas sulfhídrico, el sulfuro que de aquí resulta se combina con el ácido sulfhídrico no descompuesto, y forma un *sulfhidrato de sulfuro de potasio*, de suerte que una parte del gas queda sin descomponerse. Se consigue no obstante efectuar este análisis con toda exactitud (fig. 221), reemplazando el potasio por el estaño. Se calienta la mezcla con una lámpara de alcohol: el estaño se combina con el azufre, y el gas hidrógeno queda en libertad. Se observa que el volúmen de gas es exactamente el mismo; y puede comprobarse además que la descomposicion del ácido sulfhídrico ha sido completa, introduciendo en la campana un fragmento de potasa humedecida: si hay ácido sulfhídrico, será absorbido y el volúmen disminuirá.

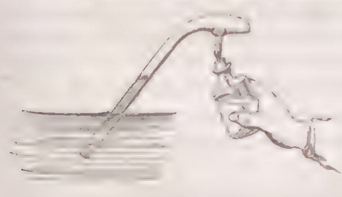


Fig. 220.

Se deduce del experimento anterior, que 1 volúmen de gas ácido sulfhídrico contiene 1 volúmen de gas hidrógeno. Ahora bien,

si de la densidad del gas ácido sulfhídrico.	1,1912
se resta la densidad del hidrógeno.	0,0692
queda.	1,1220

que es igual con corta diferencia á la sexta parte de la densidad del vapor de azufre $=\frac{6,6546}{6}=1,109$.

De aquí se infiere que 1 volúmen de gas ácido sulfhídrico está formado de 1 volúmen de gas hidrógeno, y de $\frac{1}{6}$ volúmen de vapor de azufre; ó, refiriendo esta composicion á 2 volúmenes de gas hidrógeno, que son el equivalente de este cuerpo, diremos que 2 volúmenes de gas ácido sulfhídrico encierran otros 2 de gas hidrógeno y $\frac{1}{3}$ volúmen de vapor de azufre. Pero $\frac{1}{3}$ volúmen de vapor de azufre representa el equivalente del azufre gaseoso: luego el ácido sulfhídrico se hallará formado de 1 equivalente de azufre y 1 equi-

valente de hidrógeno, y el equivalente del gas ácido sulfhídrico será de 2 volúmenes. El volúmen $\frac{1}{3}$, que hemos elegido por *equivalente del azufre gaseoso*, ofrece aun la ventaja de expresar la composicion del ácido sulfhídrico de la manera mas sencilla posible.

§ 157. Hemos de ver en adelante que existe una analogía notable entre las combinaciones del azufre y las del oxígeno, y debe con razon esperarse que se encontrará para las combinaciones del azufre con el hidrógeno una constitucion semejante á la que tienen las combinaciones del oxígeno con este cuerpo. Sin embargo, el ácido sulfhídrico presenta en esta parte una anomalía muy digna de interes. Por el conjunto de sus propiedades, se coloca al lado del agua, y esta colocacion es tan natural que los químicos no titubearon en atribuirle la misma composicion de este líquido, aun ántes que la densidad del vapor de azufre fuera conocida; pero la experiencia ha probado posteriormente que esta supuesta analogía no existe, puesto que el ácido sulfhídrico, para 2 volúmenes de hidrógeno, no contiene mas que $\frac{1}{3}$ volúmen de vapor de azufre, en vez de 1 volúmen entero que deberia tener, si su composicion fuese igual á la del agua. Se ha tratado de explicar esta anomalía, diciendo que la molécula de vapor de azufre es un grupo formado por la reunion de tres moléculas químicas.

Hemos visto que el peso 1,1912 de ácido sulfhídrico encerraba 0,0692 de hidrógeno y 1,1220 de azufre; y por consecuencia, 100 partes en peso de ácido sulfhídrico contendrán

Hidrógeno..................	5,81
Azufre..	94,19
	100,00;

y, calculando esta composicion con respecto al peso 12,50 de hidrógeno que representa el equivalente de este cuerpo, se hallará

Hidrógeno.................	12,50
Azufre....................	200,00
Acido sulfhídrico.	212,50.

La fórmula del ácido sulfhídrico en equivalentes será, pues, HS; y en la teoría atómica vendrá á ser H^2S ó HS.

El ácido sulfhídrico se halla segun esto formado de 1 equivalente de azufre y 1 de hidrógeno, y el peso de su equivalente es 212,50.

Bisulfuro de hidrógeno, HS^2.

§ 158. El azufre forma aun con el hidrógeno una segunda combinacion, que es un líquido oleaginoso, amarillento y con mayor cantidad de azufre que el ácido sulfhídrico; pero hasta el presente no ha podido determinarse esta cantidad con exactitud, por ser difícil obtener puro el bisulfuro de hidrógeno. Se prepara este cuerpo, vertiendo una disolucion de polisulfuro de calcio ó de potasio en el ácido clorhídrico, y echando el líquido, que se pone lechoso, en un grande embudo tapado inferiormente. Al cabo de algun tiempo el bisulfuro de hidrógeno se reúne en la parte estrecha del embudo bajo la forma de un líquido amarillo; y se le separa, destapando con precaucion el embudo hasta que acabe de salir este líquido, que es mas pesado. El bisulfuro de hidrógeno no se conserva bien, á menos que se halle en contacto con una disolucion bastante concentrada de ácido clorhídrico; se descompone prontamente al aire ó en el agua pura, desprendiéndose gas ácido sulfhídrico, y separándose azufre. Hemos visto (§ 155) cómo puede utilizarse esta descomposicion espontánea del bisulfuro de hidrógeno, para obtener el ácido sulfhídrico líquido.

Se admite que este cuerpo está formado de 1 equivalente de hidrógeno y 2 de azufre, dándole la fórmula HS^2.

COMBINACION DEL AZUFRE CON EL AZOE.

Sulfuro de azoe, AzS^3.

§ 159. Si se hace pasar gas amoniaco seco por el percloruro de azufre, se obtiene primeramente un polvo pardo, en forma de copos, que tiene por fórmula

$$AzH^3.SCl^2.$$

Pero si continúa la accion del amoniaco, la materia parda absorbe una nueva cantidad de este gas, y se convierte en una sustancia amarilla, cuya fórmula es

$$2AzH^3.SCl^2.$$

Tratando esta materia amarilla por el agua, se descompone en clorhidrato é hiposulfito de amoniaco, que se disuelven, y en un polvo amarillo, formado de azufre libre y sulfuro de azoe. Se lava rápidamente este polvo con un poco de agua, se le seca bajo de la campana de la máquina neumática, y se le trata repetidas veces por el éter, que disuelve el azufre libre y deja el sulfuro de azoe.

El sulfuro de azoe es un polvo amarillo, que se descompone lentamente en azufre y en azoe á una temperatura poco superior á 100°; y al contrario se descompone con explosion, cuando se le calienta de repente. El agua descompone el sulfuro de azoe, con lentitud á la temperatura ordinaria, y con mucha mas rapidez á la temperatura de ebullicion.

§ 160. El análisis del sulfuro de azoe puede hacerse con mucha exactitud, calentando gradualmente y con precaucion una mezcla de un peso conocido de sulfuro de azoe y de cobre metálico, en un aparato igual al que hemos descrito (§ 113), y que nos ha servido para determinar el azoe del nitrato de plomo. El azufre se combina con el cobre, y el azoe se desprende. Hemos visto el modo de determinar rigurosamente la proporcion de este último cuerpo, y las precauciones particulares que conviene tomar en este experimento.

Puede tambien fijarse directamente la proporcion de azufre, descomponiendo el sulfuro de azoe por el ácido nítrico, el cual trasforma al azufre en ácido sulfúrico, que despues se precipita por el cloruro de bario. De este modo se ha hallado que el sulfuro de azoe contiene

1 eq. de azoe................	175,00	22,58
3 » de azufre..............	600,00	77,42
	775,00	100,00.

Su fórmula AzS^3 corresponde á la del ácido nitroso AzO^3, ó á la del amoniaco AzH^3.

SELENIO.

Equivalente = 491,0.

§ 161. El selenio*, lo mismo que el azufre, puede obtenerse en los tres estados. Sólido á la temperatura ordinaria, se liquida hácia los 200°, y á 700° próximamente toma la forma gaseosa. El selenio sólido tiene un color pardo castaño, y su fractura es vítrea y concóidea, con bordes tan delgados á veces que son traslúcidos. El selenio presenta entónces, por refraccion, un hermoso color rojo, y aparece con este mismo color, reducido á polvo muy fino, ó cuando, encontrándose líquido, se comprime una gota entre dos láminas de vidrio.

El selenio no pasa súbitamente, como el azufre, del estado líquido al estado pastoso, y adquiere ántes una cierta viscosidad. En este estado intermedio puede ser estirado en hilos muy finos; siendo esta la causa de no haberse conseguido aun cristalizarlo por via de fusion. La densidad del selenio varía segun su constitucion molecular: es de 4,28 para el selenio vítreo, y de 4,80 para el selenio granuloso y enfriado lentamente.

El selenio fundido tiene un color pardo muy oscuro, y amarillo intenso cuando se encuentra en estado de vapor.

El selenio es combustible; arde con una llama azulada, exhalando un olor fétido de coles podridas ó de rábanos, que es característico para este cuerpo. Se forma en esta combustion ácido selenioso y óxido de selenio; y á este último producto es debido su olor desagradable. El ácido selenioso es soluble en el agua; su disolucion se descompone fácilmente por los cuerpos muy ávidos de oxígeno; y así es que el ácido sulfuroso le reduce, pasando el mismo al estado de ácido sulfúrico: el selenio que queda libre se precipita bajo la forma de un polvo rojo.

Las combinaciones de azufre y de selenio presentan entre sí la mas perfecta analogía, y por esta razon se acompañan y asimilan estos dos cuerpos, cuando se les estudia.

El selenio se encuentra en la naturaleza, principalmente en estado de seleniuro de plomo; y veremos mas adelante, cuando demos á conocer este último producto, cómo puede obtenerse el selenio.

* El selenio fué descubierto por Berzelius en 1817.

COMBINACIONES DEL SELENIO CON EL OXÍGENO.

§ 162. Se conocen dos combinaciones del selenio con el oxígeno, y son los ácidos selenioso, SeO^2, y selénico, SeO^3, que corresponden á los ácidos sulfuroso, SO^2, y sulfúrico, SO^3. Los químicos admiten aun la existencia de un tercer oxido, al cual atribuyen el olor fétido que despide el selenio, cuando arde en el aire; pero las propiedades de este compuesto se ignoran todavía.

Acido selenioso, SeO^2.

§ 163. Cuando el selenio arde en el oxígeno, se convierte en ácido selenioso. Para preparar este ácido, valiéndose de la combustion del selenio, se coloca un fragmento de este cuerpo en un tubo encorvado *abc* (fig. 221), cuya extremidad *a* se pone en comunicacion con una pequeña retorta de vidrio que contenga clorato de potasa. Se calienta esta sal á fin de producir un desprendimiento de oxígeno; y despues se calienta tambien la parte *b* que contiene el fragmento de selenio. Este cuerpo se inflama, arde con una llama azul, y el ácido selenioso se condensa, en forma de agujas blancas cristalinas. en la parte superior del tubo.

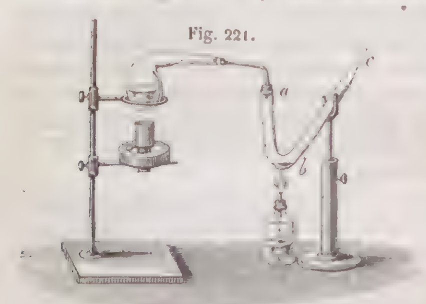


Fig. 221.

Se obtiene igualmente el ácido selenioso, oxidando el selenio por el ácido nítrico concentrado, ó mejor aun, por una mezcla de ácido nítrico y clorhídrico. El selenio se disuelve en estado de ácido selenioso, y, evaporando la disolucion, se obtiene este ácido en forma de una masa blanca. Hemos visto que en iguales circunstancias el azufre se trasformaba en ácido sulfúrico.

El ácido selenioso es muy soluble en el agua. No retiene el oxígeno con mucha fuerza, y un crecido número de sustancias le roban este elemento. El hierro y el zinc descomponen el ácido selenioso disuelto, y precipitan el selenio en forma de un polvo rojo. El ácido sulfuroso produce una descomposicion análoga.

§ 164. Puede determinarse la composicion del ácido selenioso

averiguando cuál es el peso de este ácido producido por 1 gramo de selenio, tratado por el ácido nítrico. Se la obtiene tambien, hallando la cantidad de selenio que produce un peso conocido de ácido selenioso, descompuesto por el ácido sulfuroso. Por último, puede analizarse un selenito, por ejemplo, el selenito de plomo, ó el selenito de plata. Se ha encontrado por estos medios que el ácido selenioso contiene

Selenio...................	71,06
Oxígeno...................	28,94
	100,00.

Acido selénico, SeO^3.

§ 165. Calentando una mezcla de nitrato de potasa y de selenio ó de seleniuro de plomo, resulta seleniato de potasa, que se purifica por cristalizaciones repetidas. El seleniato de potasa, disuelto en el agua, es tratado por una disolucion de nitrato de plomo; y se precipita seleniato de plomo insoluble, que se recoge sobre un filtro. Se echa en agua este seleniato, bien lavado, y queda en suspension en el líquido; despues se le somete á una corriente de gas ácido sulfhídrico: se forma sulfuro de plomo, que se precipita en forma de un polvo negro, y ácido selénico hidratado que se disuelve en el agua. Se tiene efectivamente la reaccion

$$PbO.SeO^3+HS=PbS+SeO^3.HO.$$

La disolucion de ácido selénico puede concentrarse por la accion del calor; y en este caso la temperatura de ebullicion del líquido va subiendo hasta 290° próximamente; pero, si se trata de concentrarlo mas, se observa que el ácido selénico se descompone con desprendimiento de oxígeno.

El ácido selénico se reduce por el ácido clorhídrico, desprendiéndose cloro, y formándose ácido selenioso. El ácido sulfúrico, que descompone inmediatamente al ácido selenioso, no ejerce accion ninguna sobre el ácido selénico. Cuando se quiera, pues, precipitar el selenio del ácido selénico, es menester primeramente convertir este ácido en ácido selenioso, haciendo hervir su disolucion con ácido clorhídrico, despues añadir ácido sulfuroso, y continuar la ebullicion del líquido.

§ 166. El ácido selénico es un ácido muy fuerte, y se parece mucho en sus propiedades al ácido sulfúrico. Puede determinarse su composicion por el análisis de un seleniato, del seleniato de plomo, por ejemplo. Se toma un peso determinado de seleniato, y se le echa

agua, que le mantiene en suspension: se le descompone en seguida por el hidrógeno sulfurado, que precipita el plomo en estado de sulfuro de plomo. Este es recogido en un filtro, y despues de lavado y desecado, se le calcina con el filtro en un crisol de platino. Seguidamente se trasforma el sulfuro de plomo en sulfato; para lo cual se vierte sobre la materia ácido nítrico y algunas gotas de ácido sulfúrico; despues se calcina hasta el calor rojo. Se pesa el sulfato de plomo; y del peso obtenido se deduce, por el cálculo, la cantidad p' de óxido de plomo que existe en el peso p de seleniato de plomo. La cantidad de ácido selénico será $(p-p')$.

Es fácil ya determinar directamente la proporcion de selenio que contiene el peso $(p-p')$ de ácido selénico. Basta concentrar por evaporacion el líquido obtenido despues de haber separado sobre el filtro el sulfuro de plomo; hacer hervir este líquido concentrado, primeramente con ácido clorhídrico, que reduce el ácido selénico al estado de ácido selenioso, despues con ácido sulfuroso, que descompone el ácido selenioso y precipita el selenio. Sea p'' el peso del selenio obtenido, $(p-p'-p'')$ será el del oxígeno que forma ácido selénico con el peso p'' de selenio.

Se ha encontrado de este modo que el ácido selénico contiene

Selenio	62,07
Oxígeno	37,93
	100,00.

§ 167. En resúmen, los dos compuestos conocidos del selenio encierran

Acido selenioso.	Selenio	71,06
	Oxígeno	28,94
		100,00
Acido selénico.	Selenio	62,07
	Oxígeno	37,93
		100,00.

Si se refiere la composicion de los dos ácidos á una misma cantidad 100 de selenio, vendrá expresada del modo siguiente:

Acido selenioso.	Selenio	100,00
	Oxígeno	40,73
		140,73.
Acido selénico.	Selenio	100,00
	Oxígeno	61,40
		161,40.

Así, para la misma cantidad de selenio, el ácido selénico contiene $1\frac{1}{2}$ vez tanto oxígeno como el ácido selenioso. El medio mas sencillo de expresar en equivalentes la composicion de estos cuerpos, consiste en decir que el ácido selenioso se halla compuesto de 1 equivalente de selenio y 2 de oxígeno, y que el ácido selénico contiene 1 equivalente de selenio y 3 equivalentes de oxígeno. Admitiendo esta hipótesis, es claro que el equivalente en peso del selenio será dado por una de las dos proporciones siguientes:

$$\left.\begin{array}{l} 28,94 : 71,06 :: 200 : x \\ 37,93 : 62,07 :: 300 : x \end{array}\right\} \text{de donde } x = 491,0.$$

Veremos muy pronto, que por esta misma hipótesis se representa lo mas sencillamente posible la composicion del ácido selenhídrico.

§ 168. Será conveniente recordar desde ahora una ley física, que todavía no hemos puesto en uso para fijar la composicion de los cuerpos en equivalentes, y que nos va á servir de frecuente apoyo en lo que irá siguiendo. Hemos visto en la introduccion (§ 44) que: *cuando dos cuerpos presentan composiciones semejantes, afectan tambien, en general, formas cristalinas casi idénticas*: y que recíprocamente: *cuando dos cuerpos compuestos presentan formas cristalinas idénticas con corta diferencia, ó cuando son isomorfos, tienen por lo comun composiciones semejantes.* Ahora bien, el exámen comparativo de los sulfatos y seleniatos, ha hecho ver que los seleniatos y sulfatos de una misma base son isomorfos; debiendo por lo tanto tener fórmulas semejantes. Luego, si escribimos la fórmula del ácido sulfúrico SO^3, deberemos escribir tambien la del ácido selénico SeO^3, y, en consecuencia, la del ácido selenioso SeO^2.

Se ha hallado por la experiencia que la densidad del vapor de ácido selenioso era 4,0: de consiguiente, 1 volumen de ácido selenioso gaseoso encerrará 1 volúmen de oxígeno. Hemos visto que el ácido sulfuroso gaseoso contenia igualmente un volumen de oxígeno igual al suyo.

COMBINACION DEL SELENIO CON HIDRÓGENO.

Acido selenhídrico, HSe.

§ 169. El selenio forma con el hidrógeno un compuesto gaseoso, el ácido selenhídrico, análogo al ácido sulfhídrico, y se le obtiene descomponiendo el seleniuro de hierro por el ácido clorhídrico. El

ácido selenhídrico se disuelve en el agua, y su disolucion se descompone en contacto del aire, del mismo modo que la del ácido sulfhídrico. El selenio se precipita en forma de un polvo rojo.

El ácido selenhídrico está formado de :

Hidrógeno...	12,50	2,48
Selenio.....	491,00	97,52
	503,50.	100,00.

El equivalente del ácido selenhídrico es pues 503,50, y su fórmula HSe.

TELURO.

Equivalente = 806,5.

§ 170. El teluro *, que es muy raro, se presenta algunas veces en la naturaleza aislado ó nativo, aunque es lo mas frecuente hallarlo en combinacion con los metales, principalmente con el oro, la plata, el bismuto y plomo. Veremos mas adelante, cómo se consigue aislarlo de su combinacion con el bismuto. El teluro posee las propiedades físicas de un metal, y es muy parecido en su aspecto al antimonio; pero se acerca mucho al selenio y al azufre en las propiedades de sus combinaciones.

El teluro es de un blanco de plata, y presenta un brillo metálico muy vivo. Se funde al calor rojo oscuro, y por un enfriamiento lento y regular, adquiere una textura cristalina de láminas anchas y brillantes, que se manifiestan distintamente en su fractura. Es fácil ver, por la disposicion de los planos de facetacion, que la forma primitiva del teluro cristalizado es un romboedro. El teluro es susceptible de gasificarse, si bien requiere para ello una temperatura muy elevada; y aun cuando puede ser destilado, no es posible efectuar esta destilacion en las retortas de barro ó porcelana que se calientan en los hornillos de mano de nuestros laboratorios.

Se facilita mucho la destilacion de las materias volátiles, calentándolas en medio de una corriente de gas que no ejerza accion química sobre ellas. Las materias volátiles emiten vapores muy sensibles á temperaturas muy inferiores á la de su punto de ebullicion. Así el agua, que hierve á 100° bajo la presion ordinaria de la atmósfera, desprende á la temperatura ordinaria vapores abundantes; y la densidad de estos vapores, encerrados en un espacio limitado, no puede pasar de un cierto máximo dependiente de la temperatura; pero se concibe que, si se van sacando estos vapores á medida que se forman, este máximo no podrá establecerse, y habrá constantemente emision de nuevos vapores, hasta que toda la sustancia se haya volatilizado.

Para destilar el teluro, se le pone en una capsulita de platino, en forma de navecilla, que se coloca dentro de un tubo de porcelana dispuesto en un horno de reverbero. Se hace llegar por uno de los extremos de este tubo una corriente de gas hidrógeno seco, y al

* El teluro fue descubierto en 1782 por Muller de Reichenstein, en las minas de oro de Transilvania, pero se debe á Klaproth el conocimiento de sus principales propiedades.

otro extremo, que debe salir bastante fuera del horno, se adapta un tubo de desprendimiento para dar salida al gas. Se principia haciendo pasar una corriente de hidrógeno por el interior del aparato, á fin de desalojar completamente el aire atmosférico; despues se calienta el tubo, hasta la temperatura mas elevada que sea posible, manteniendo siempre la corriente gaseosa. El teluro sublimado se condensa en la parte anterior y mas fria del tubo.

El teluro tiene una densidad bastante considerable, pues se halla representada por 6,26; y bajo este aspecto se acerca aun á los metales propiamente dichos.

El teluro calentado en contacto del aire se enciende y arde con una llama azulada, despidiendo un olor particular, que no podemos caracterizar.

COMBINACIONES DEL TELURO CON EL OXÍGENO.

§ 471. El teluro forma dos combinaciones con el oxígeno: el ácido teluroso, TeO^2, y el ácido telúrico, TeO^3, que se obtienen por métodos análogos á los que hemos usado para preparar los ácidos selenioso y selénico. No nos detendremos en describir estas combinaciones.

CLORO.

Equivalente = 443,2.

§ 172. El cloro * es un gas que se distingue inmediatamente por su aspecto de todos los que llevamos estudiados. En efecto, los gases que hasta ahora conocemos son incoloros, al paso que el cloro presenta un color amarillo verdoso; y esta propiedad ha sido precisamente la causa de darle su nombre (de χλωρός, amarillo verdoso). Comprimiendo el cloro, de modo que se reduzca á un volúmen 5 veces menor del que ocupa bajo la presion ordinaria de la atmósfera, se liquida formando un líquido amarillo verdoso, que tiene por densidad 1,33, y no ha podido solidificarse todavía por los mayores enfriamientos que se han producido. La densidad del cloro gaseoso es 2,44, esto es, casi $2\frac{1}{2}$ veces la del aire.

§ 173. Se prepara el cloro tratando el peróxido de manganeso por el ácido clorhídrico. Se introduce el peróxido de manganeso pulverizado en un matraz de vidrio (fig. 222), y se echa por encima ácido clorhídrico. Un tubo propio para conducir el gas, adaptado al cuello del matraz, lo dirige á una campana colocada sobre la cuba de agua. En esta reaccion el peróxido de manganeso da su oxígeno al hidrógeno del ácido clorhídrico; la mitad del cloro, que queda libre, se combina con el manganeso para formar protocloruro de manganeso, y la otra mitad se desprende.

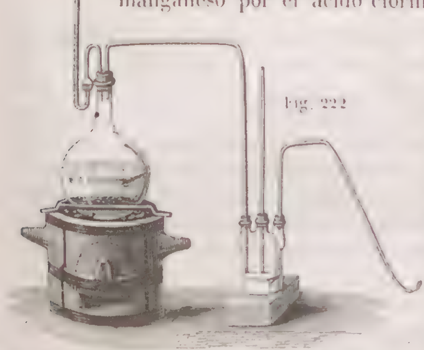


Fig. 222

Peróxido de manganeso. . . . { Manganeso. . . . . / Oxígeno. . . }
Acido clorhídrico . . . . { Hidrógeno. . / Cloro. . { Cloro. . . . . / Cloro. . . . . . . }

Oxígeno + Hidrógeno > Agua
Manganeso + Cloro > Protocloruro de manganeso.
Cloro. . . . . . . Que se desprende.

$$MnO^2 + 2HCl = MnCl + 2HO + Cl.$$

Se calienta suavemente el matraz para facilitar la reaccion.

* El cloro fué descubierto el año 1774 por Schéele.

Cuando haya necesidad de obtener por mucho tiempo un desprendimiento continuo de cloro, no se vierte de una vez sobre el peróxido de manganeso toda la cantidad de ácido clorhídrico necesaria, sino que se echa en diferentes veces, y á proporcion que haga falta, por el tubo en S.

Se obtiene un desprendimiento de cloro mas regular, sustituyendo al ácido clorhídrico una mezcla de sal marina y ácido sulfúrico. Se ponen en un matraz, 1 parte de peróxido de manganeso reducido á polvo fino, 4 partes de sal marina, ó cloruro de sodio, y 2 de ácido sulfúrico concentrado del comercio, que se diluye en su peso de agua. El cloruro de sodio, por el contacto del ácido sulfúrico y del agua, produce sulfato de sosa y ácido clorhídrico :

Cloruro de sodio.... { Sodio .... } Oxido de sodio. } Sulfato de sosa.
{ Cloro ..... } Acido clorhídrico.
Agua .... { Hidrógeno .. } Acido clorhídrico.
{ Oxígeno .... } Oxido de sodio.
Acido sulfúrico .... } Sulfato de sosa.

$$NaCl + HO + SO^3 = NaO.SO^3 + HCl.$$

El ácido clorhídrico, en presencia del peróxido de manganeso, obra como hemos indicado anteriormente : se forman cloruro de manganeso, sulfato de sosa y cloro que se desprende. El ácido sulfúrico en exceso obra aun sobre el cloruro de manganeso como sobre el cloruro de sodio : le descompone con ayuda del agua, y resulta de aquí una nueva cantidad de ácido clorhídrico y de sulfato de manganeso; de suerte que los productos definitivos de la reaccion son sulfatos de sosa y de manganeso, que quedan en el matraz, y todo el cloro del cloruro de sodio, que se desprende bajo la forma gaseosa.

La reaccion final estará representada por la ecuacion siguiente :

$$NaCl + MnO^2 + 2SO^3 = NaO.SO^3 + MnO.SO^3 + Cl.$$

El cloro es mas soluble en el agua que los gases simples estudiados hasta aquí : 1 volúmen de agua puede disolver 2 volúmenes de cloro. Esta gran solubilidad del cloro en el agua impide conservarlo sobre este líquido, y es incómoda ademas para recogerlo. Sin embargo, operando rápidamente y teniendo cuidado de que el tubo que conduce el gas se introduzca hasta la parte superior de la campana, se consigue recogerlo sobre el agua; pues las burbujas de gas no están ya forzadas á atravesar el líquido, y se hallan menos expuestas á su accion disolvente. No puede recogerse el cloro sobre el mercurio, porque se combina inmediatamente con este metal, aun á la temperatura ordinaria.

Cuando quiera obtenerse cloro seco, se procederá del modo siguiente: habiendo pasado el gas por un primer frasco lavador B (fig. 223), que contiene un poco de agua para absorber el ácido clorhídrico que aquel pudiera arrastrar, se le conduce por un tubo *ab* lleno de cloruro de calcio, ó por un tubo en U lleno de piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico concentrado. Estas sustancias, muy ávidas de agua, desecan el gas, que pasa entónces por otro tubo al fondo de un frasco C de boca estrecha, desecado tambien preventivamente. El cloro, en virtud de su gran densidad, ocupa la parte inferior, va llenando el frasco, y desalojando al aire atmosférico.

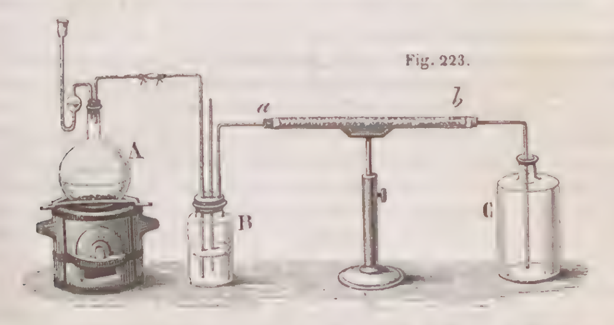


Fig. 223.

Puede admitirse, al cabo de algun tiempo, que el frasco se ha llenado de cloro; se saca poco á poco el tubo, y se tapa prontamente el frasco con un tapon esmerilado.

La disolucion del cloro en el agua, que se llama tambien *agua clorurada*, se emplea á menudo en los laboratorios y en las artes. Se la prepara haciendo pasar cloro por una serie de frascos de tres bocas, llenos de agua hasta las tres cuartas partes, y dispuestos como en el aparato de Woolf. El gas que queda sin disolverse en el primer frasco, atraviesa el líquido del segundo, y despues el del tercero y así sucesivamente.

La disolucion acuosa de cloro en el agua tiene el mismo color que el gas. Cuando se rodea de hielo uno de los frascos del aparato precedente, no tardan en formarse copos de una materia cristalina, de color amarillo verdoso mas intenso que el del líquido que la rodea. Esta materia es una combinacion del cloro con el agua, un hidrato de cloro, que contiene 28 de cloro y 72 de agua. Estos cristales pueden aislarse fácilmente, si la temperatura exterior es muy baja, como en los frios rigurosos del invierno. Basta recogerlos en un embudo, y dejarlos que escurran bien; comprimirlos despues

entre dobleces de papel de filtro, enfriado igualmente, é introducirlos al instante en un tubo encorvado *abc* (fig. 224), cerrado por el extremo *a*. Se mantiene fria, con hielo, la parte *ab* del tubo, en la cual se halla el hidrato, y se cierra á la lámpara la extremidad opuesta *c*.

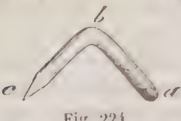


Fig. 224.

El hidrato de cloro se descompone á una temperatura poco superior á cero. Si se calienta la parte del tubo que le contiene, sumergiéndola en agua á 35°, se observa que la materia cristalina se convierte en un líquido que forma dos capas: una de ellas, la inferior, de un color amarillo intenso, no es otra cosa que cloro líquido; la superior presenta un matiz mucho mas claro, y es una disolucion saturada de cloro en el agua. Enfriando con hielo la parte *bc* del tubo, el cloro líquido hierve en la rama *ab*, y se condensa en la parte *bc*, separándose así de la disolucion acuosa.

El cloro tiene afinidades poderosas: se combina directamente con el gas hidrógeno, y se produce siempre una explosion, cuando se introduce una cerilla encendida en una mezcla de estos dos gases. Se combina igualmente con la mayor parte de los metales. Muchos cuerpos, entre otros el arsénico y el antimonio, se encienden cuando, reducidos á polvo fino, se les proyecta en un frasco lleno de cloro. Si se hace pasar vapor de agua y gas cloro por un tubo de porcelana, el agua se descompone: el oxígeno queda en libertad, y se forma ácido clorhídrico.

El agua clorurada obra frecuentemente como un oxidante enérgico; por ejemplo, trasforma inmediatamente el ácido sulfuroso en ácido sulfúrico. El agua se descompone en este caso: se forma ácido clorhídrico, y el oxígeno en estado naciente se une con el ácido sulfuroso:

$$SO^2 + Cl + HO = HCl + SO^3.$$

La disolucion de cloro se conserva sin alteracion, cuando se la mantiene en la oscuridad y en un frasco bien tapado; pero, bajo la influencia de la luz solar, el cloro descompone el agua, formandose ácido clorhídrico y ácido hipocloroso:

$$2Cl + HO = ClO + HCl.$$

El cloro se emplea en las artes para el blanqueo de las telas de hilo y algodon, y en general para destruir los colores de origen vegetal. Las materias colorantes vegetales, como todas las de origen orgánico, están compuestas de carbono, hidrogeno y oxigeno, y algunas veces de azoe. El cloro obra enérgicamente sobre un con-

siderable número de estas materias, y las descompone apoderándose de su hidrógeno para formar ácido clorhídrico. La materia colorante se pone blanca en virtud de esta descomposicion. Una reaccion semejante es tambien la causa de que el cloro descolore la tinta comun de escribir, cuyo principio colorante es una combinacion del sesquióxido de hierro con una materia orgánica, que se saca ordinariamente de la nuez de agallas. Para quitar una mancha de tinta comun, ó dejar enteramente blanco un papel escrito, es menester, despues de haber sacado la mancha ó los caractéres por medio del agua de cloro, lavar repetidas veces la parte mojada con ácido clorhídrico debilitado, que disuelve todo el sesquióxido de hierro. Sin esta precaucion lo manchado ó escrito volveria á salir, cuando se humedeciera aquella parte con prusiato de potasa, que produce con el sesquióxido de hierro un compuesto azul. La tinta de China y la de imprenta se sustraen á la accion del cloro, en razon á que el principio colorante de ellas es carbono muy dividido, que no se combina directamente con el cloro.

Se emplea tambien el cloro para destruir los miasmas pútridos que se desprenden de las materias orgánicas en descomposicion. Estos miasmas son debidos á la presencia en el aire de sustancias orgánicas, que se hallan no obstante en cantidades tan sumamente pequeñas, que el análisis químico no ha podido hasta el dia descubrirlas. El cloro destruye estas sustancias apoderándose de su hidrógeno.

El cloro obra como un veneno sobre la economía animal. Respirado en corta cantidad provoca la tos, y cuando se está mucho tiempo expuesto á su accion, puede producir accidentes mas graves, como son esputos de sangre, etc., etc.

COMBINACIONES DEL CLORO CON EL OXÍGENO.

§ 174. Estas combinaciones son muy numerosas, conociéndose cinco bien definidas, y algunas otras mas complexas, que pueden considerarse como el resultado de la union de las primeras entre sí.

Las cinco combinaciones mas importantes son :

1° El ácido hipocloroso.................... ClO
2° El ácido cloroso........................ ClO^3
3° El ácido hipoclórico.................... ClO^4
4° El ácido clórico........................ ClO^5
5° El ácido perclórico..................... ClO^7.

Principiaremos por el ácido clórico que puede tomarse como punto de partida para todas las demas combinaciones.

Acido clórico, ClO^5.

§ 175. Cuando se hace pasar cloro por una disolucion concentrada de potasa hasta la saturacion, se separan al cabo de algun tiempo laminitas cristalinas blancas de clorato de potasa; en el líquido queda mucho cloruro de potasio y ademas la pequeña cantidad de clorato de potasa que puede permanecer en disolucion. La reaccion se verifica entre 6 equivalentes de cloro y 6 de potasa: se forman 5 equivalentes de cloruro de potasio, KCl, y 1 equivalente de clorato de potasa, $KO.ClO^5$, es decir que se tiene la ecuacion

$$6Cl + 6KO = 5KCl + KO.ClO^5.$$

Se purifica el clorato de potasa disolviéndole en el agua hirviendo: pues de este modo la mayor parte se deposita en forma de cristales, durante el enfriamiento del líquido.

El clorato de potasa es el que sirve para preparar el ácido clórico y todas las demas combinaciones que forma el cloro con el oxígeno.

Para preparar el ácido clórico se vierte un exceso de ácido hidrofluosilícico en una disolucion de clorato de potasa; se forma un precipitado gelatinoso de hidrofluosilicato de potasa insoluble, y el ácido clórico queda disuelto. Si no se echase mas que la cantidad de ácido hidrofluosilícico estrictamente necesaria para precipitar la potasa, el ácido clórico quedaria solo en disolucion. Mas, como el hidrofluosilicato de potasa es un precipitado gelatinoso trasparente, que apénas se distingue del líquido, no es posible apreciar el momento en que la potasa se ha precipitado completamente, y es preciso añadir un exceso de ácido hidrofluosilícico. El líquido filtrado contiene, pues, una mezcla de ácido clórico y de ácido hidrofluosilícico; se le satura por una disolucion de barita hasta que adquiera una ligera reaccion alcalina: la barita forma con el ácido hidrofluosilícico una sal insoluble, y con el ácido clórico un clorato soluble. Se evapora el líquido despues de filtrado otra vez, y se obtiene clorato de barita cristalizado. Se aisla el ácido clórico, disolviendo en el agua el clorato de barita, y vertiendo con cuidado ácido sulfúrico en la disolucion hasta que deje de formar precipitado. Se separa el sulfato de barita sobre un filtro, y se concentra la disolucion, que solo contiene ácido clórico, bajo de la campana de la máquina neumática, pudiendo dársele de este modo la consistencia de jarabe.

No puede servir en este caso la accion del calor para concentrar la disolucion de ácido clorico, porque á una temperatura superior á 40° se descompone prontamente, formando dos ácidos, de los cuales el mas oxigenado, o el ácido perclórico, ClO^7, queda disuelto

y el menos oxigenado, ó ácido cloroso, ClO^3, se desprende en forma de un gas amarillo, ó bien se descompone inmediatamente en cloro y en oxígeno, segun la temperatura.

Un papel azul de tornasol, sumergido en una disolucion de ácido clórico, se enrojece en los primeros instantes; pero no tarda en descolorarse tan completamente como lo haria en una disolucion de cloro.

Si se vierten algunas gotas de una disolucion concentrada de ácido clórico sobre un lienzo ó sobre una hoja de papel, y en seguida se les seca á un calor suave, las partes que han sido mojadas se encienden y arden con deflagracion.

El ácido clórico mezclado con una disolucion de ácido clorhídrico, desprende cloro en abundancia; la reaccion se halla representada por la ecuacion siguiente :

$$ClO^5+5HCl=6Cl+5HO.$$

Los cuerpos fácilmente oxidables descomponen el ácido clórico, apoderándose de su oxígeno; así es que el ácido sulfuroso en contacto del ácido clórico se convierte en ácido sulfúrico, y el ácido fosforoso en ácido fosfórico.

§ 176. La composicion del ácido clórico se deduce fácilmente de la del clorato de potasa, sal anhidra, cuyo análisis puede hacerse con mucha exactitud.

Calcinaremos un peso p de clorato de potasa en un crisol de platino: se desprenderá oxígeno, y quedará un peso p' de cloruro de potasio; $(p-p')$ representará por consecuencia el oxígeno que existia en el ácido clórico y en la potasa.

Si conociésemos la composicion del cloruro de potasio, hallaríamos inmediatamente la cantidad c de cloro y la cantidad k de potasio que se encuentran en el peso p' de cloruro de potasio; y deduciríamos que un peso p de clorato de potasa contiene

k.................. de potasio
c.................. de cloro
$p-p'$................ de oxígeno.

Pero supongamos que la composicion del cloruro de potasio sea desconocida, será fácil determinarla de la manera siguiente :

Se disuelve en el agua un peso conocido p' de cloruro de potasio, y se echa en la disolucion un exceso de nitrato de plata: se formará un precipitado de cloruro de plata, fácil de recoger, que se pesará cuidadosamente despues de haberlo secado. Sabremos, pues, que un peso p' de cloruro de potasio da un peso p'' de cloruro de plata. Admitamos por un instante que la composicion del cloruro de

plata sea conocida, sabremos entónces que, en un peso p'' de este cuerpo, existe un peso c de cloro.

Mas si tampoco se conociese la composicion del cloruro de plata, bastaria para determinarla tomar 10 gramos de este cuerpo, introducirlos en un tubo de vidrio y calentarlos en medio de una corriente de gas hidrógeno: el cloruro de plata seria reducido al estado de plata metálica, y el cloro se desprenderia en estado de ácido clorhídrico. Pesando exactamente la plata metálica que quedó en el tubo, se tendria la composicion del cloruro de plata.

Acabamos de determinar la composicion del cloruro de plata por *la via analítica;* podemos obtenerla igualmente por *la via sintética.* En efecto, disolvamos 10 gramos de plata metálica perfectamente pura en el ácido nítrico, dilatemos en agua la disolucion, y echemos despues con precaucion ácido clorhídrico hasta que ya no se forme precipitado: la plata se precipitará en estado de cloruro, que se lavará fácilmente por decantacion, y se secará. El peso de cloruro obtenido, menos el de la plata que hemos puesto, dará el peso de cloro combinado con los 10 gramos de metal.

Admitiremos que la potasa resulta de la combinacion de 1 equivalente de potasio con 1 equivalente de oxígeno. Ahora bien, el cloruro de potasio se obtiene tratando 1 equivalente de potasa, KO, por 1 equivalente de ácido clorhídrico, HCl:

$$KO + HCl = KCl + HO.$$

Conocida pues la composicion del cloruro de potasio, la de la potasa se deducirá inmediatamente, estableciendo esta proporcion: la cantidad de cloro combinado con una cierta cantidad de potasio es á la cantidad de oxígeno que formaria potasa con esta misma cantidad de potasio, como el equivalente del cloro = 433,2 es al equivalente del oxígeno = 100.

Se hallará por resultado final de todas estas investigaciones, que 100 partes en peso de clorato de potasa contienen

Potasio	31,93
Cloro	28,92
Oxígeno	39,15
	100,00.

Pero 31,93 de potasio exigen 6,52 de oxígeno para formar potasa: luego quedarán para el ácido clórico

Cloro	28,92
Oxígeno	32,63
	61,55;

y 100 partes de este ácido resultarán formadas de

Cloro.	47,00
Oxígeno	53,00
	100,00.

El número que admitiremos como equivalente del cloro, segun muy pronto vamos á ver, es 443,2. Hallaremos pues que la composicion del ácido clórico corresponde á

1 eq. cloro.................	443,2
5 » oxígeno..........	500,0
1 » ácido clórico...........	943,2.

Acido perclórico, ClO^7.

§ 177. Acabamos de ver que, calentando hasta que hierva una disolucion de ácido clórico, se desprende ácido cloroso ó ácido hipoclórico, formándose al mismo tiempo ácido perclórico, que queda en el líquido.

Si se vierte ácido sulfúrico sobre el clorato de potasa, la mezcla toma una tinta amarilla parda, se desprende un gas amarillo, el ácido hipoclórico, y se forman perclorato y bisulfato de potasa, que quedan en la cápsula. Es menester auxiliar la reaccion con un calor templado, para lo cual se pondrá la cápsula al baño-maría. Son necesarias en esta operacion muchas precauciones, por ser el ácido hipoclórico un gas en extremo detonante, y no poderse evitar fácilmente las explosiones. Volveremos á tratar de esta preparacion al hablar del ácido hipoclórico. Por lo demas, el perclorato de potasa se separa muy fácilmente del bisulfato mediante la cristalizacion, porque es mucho menos soluble que esta última sal.

Se prepara con mas facilidad el perclorato de potasa por otro medio. Cuando se calienta clorato de potasa en una retorta de vidrio para obtener gas oxígeno, la materia se funde desde luego, y el gas se desprende durante un cierto tiempo; pero si no se aumenta la temperatura constantemente, la fluidez de la materia disminuye, y llega un momento en que toma una consistencia pastosa: el desprendimiento de oxígeno cesa entónces, y solo vuelve á principiar activando la accion del fuego. La mezcla salina que queda en la retorta, se compone de perclorato de potasa y cloruro de potasio; se la pulveriza y trata por una pequeña cantidad de agua fria, que disuelve casi la totalidad del cloruro de potasio, al paso que no disuelve sensiblemente el perclorato de potasa, por ser este muy poco

soluble. Se trata en seguida el residuo por el agua hirviendo, hasta disolverlo totalmente. Por el enfriamento de esta disolucion, la mayor parte del perclorato de potasa cristaliza. Para obtener esta sal en los laboratorios, se aprovechan los residuos de la preparacion del gas oxígeno con el clorato de potasa.

El ácido perclórico se prepara con el perclorato de potasa, siguiendo exactamente el mismo procedimiento que hemos indicado para obtener el ácido clórico por medio del clorato. Pero siendo el ácido perclórico mucho mas estable que el ácido clórico, no hay necesidad de tomar las mismas precauciones para concentrar la disolucion, y se la puede evaporar por el calor, y aun destilar en una retorta de vidrio cuando se halle concentrada. Las primeras porciones que pasan por destilacion son mas acuosas, pero la temperatura se eleva en la retorta hasta 200°, y destila un ácido que tiene por densidad 1,65. Este es el ácido perclórico, que se halla en su máximo de concentracion; y constituye un líquido incoloro, que enrojece fuertemente la tintura de tornasol sin blanquearla. Es mucho mas estable que el ácido clórico, no solo bajo la influencia del calor, sino tambien en presencia de las materias oxidables; y así es que no ejerce accion en frio sobre el ácido sulfuroso.

§ 178. La composicion del ácido perclórico se saca por la del perclorato de potasa, cuyo análisis se hace del mismo modo que el del clorato de potasa (§ 176). Se encuentra así que el ácido perclórico contiene

1 eq. cloro............	443,2	38,77
7 » oxígeno..........	700,0	61,23
1 » ácido perclórico...	1143,2	100,00.

Acido hipocloroso, ClO.

§ 179. Cuando se hace pasar una corriente de cloro por entre una disolucion débil de potasa, sin que intervenga la accion del calor, no se forma clorato de potasa, como sucede cuando se emplea una disolucion concentrada y se aumenta la temperatura; pero se obtiene un líquido que posee en alto grado la propiedad de descolorar las materias colorantes orgánicas, y que contiene cloruro de potasio é hipoclorito de potasa. La reaccion se verifica entre 2 equivalentes de cloro y 2 de potasa, y se halla representada en la ecuacion siguiente:

$$2KO + 2Cl = KO.ClO + KCl.$$

Si se reemplaza la potasa por una lechada de cal, se obtiene un hipoclorito de cal correspondiente. Estos productos son de una importancia grande en las artes, se emplean para el blanqueo de las telas, y se les da el nombre de *cloruros descolorantes*.

El ácido hipocloroso en disolucion en el agua se prepara del modo siguiente: en un gran frasco lleno de cloro gaseoso, se echa óxido rojo de mercurio molido y desleido en agua; se tapa el frasco y se le agita. El cloro es absorbido prontamente, formándose oxicloruro de mercurio insoluble, y ácido hipocloroso que se disuelve en el agua. El líquido filtrado no contiene mas que ácido hipocloroso.

Pero puede tambien obtenerse el ácido hipocloroso privado de agua. Basta hacer pasar lentamente una corriente de cloro seco por un tubo de vidrio *ab* (fig. 225) que contenga óxido de mercurio, é

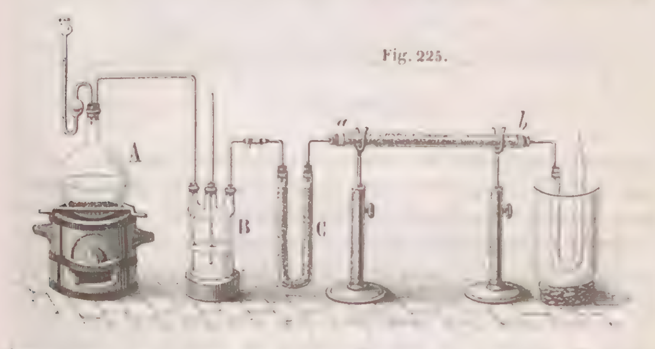


Fig. 225.

impedir que la temperatura se eleve durante la reaccion; para lo cual se rodea el tubo *ab* de hielo ó de agua fria. Se forma cloruro de mercurio, y se desprende un gas amarillo anaranjado, que puede liquidarse, conduciéndole á un tubo enfriado por una mezcla de hielo y sal marina. Conviene que la temperatura no se eleve durante la reaccion, pues de lo contrario el ácido hipocloroso se descompondria completamente, y habria solo un desprendimiento de oxígeno.

El óxido de mercurio mas á propósito para este caso es el que se obtiene descomponiendo, por un exceso de potasa, el nitrato o bicloruro de mercurio, lavando el precipitado y calentándole hasta una temperatura de 300° próximamente.

El ácido hipocloroso forma un liquido de un color rojo subido, que hierve hácia los 20° produciendo un vapor amarillo anaranjado. El agua disuelve un volúmen de este vapor 200 veces mayor que

el suyo, y adquiere un hermoso color amarillo. El vapor del ácido hipocloroso detona á una temperatura poco elevada.

El ácido hipocloroso disuelto en el agua ejerce acciones oxidantes enérgicas; descompone las disoluciones de protocloruro de plomo y de manganeso, de las cuales precipita bióxido de plomo, PbO^2, ó sesquióxido de manganeso, Mn^2O^3. La disolucion de cloro no produce este efecto sino bajo la influencia de los rayos solares.

§ 180. El análisis del ácido hipocloroso se ejecuta fácilmente como sigue :

Se prepara el ácido gaseoso haciendo pasar lentamente cloro por un tubo bien enfriado, que contenga óxido de mercurio; se adapta á la otra extremidad de este tubo, otro capilar que lleva soldadas varias ampollas A, B, C (fig. 226), de 20 á 30 centímetros

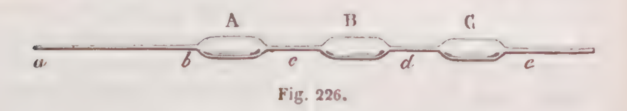


Fig. 226.

cúbicos de capacidad. Se calienta la parte *ab* del tubo capilar con una lámpara de alcohol, ó con algunas ascuas. El gas se descompone conforme va llegando á esta parte del tubo, y las ampollas se llenan sucesivamente de una mezcla de cloro y oxígeno, segun la proporcion en que estos dos gases están combinados en el ácido hipocloroso. Cuando se ha descompuesto de este modo una cantidad de gas suficiente para desalojar todo el aire que llenaba primitivamente el aparato, se van cerrando á la lámpara las ampollas, proyectando la llama, por medio del soplete, sobre los puntos *a*, *b*, *c*, *d* del tubo capilar. Cada ampolla se encuentra ahora llena de una mezcla de cloro y oxígeno en las proporciones que constituyen el ácido hipocloroso, y esta mezcla se equilibra con la presion atmosférica á la temperatura del ambiente, puesto que el tubo capilar comunicaba, en el momento de cerrarlo, con el aire exterior. Si se abre una de estas ampollas, por una de sus extremidades que se tenga sumergida en una disolucion débil de potasa, el cloro será absorbido, y el líquido alcalino subirá por la ampolla hasta cierta altura. Se la introduce en este hasta que el nivel interior enrase sensiblemente con el nivel exterior, y se tapa entónces con el dedo la extremidad abierta; se saca la ampolla, y se la pesa en seguida con el líquido que contiene : sea p' su peso. Se llena despues toda la ampolla del mismo líquido alcalino, y se la pesa : se hallará un peso p''. En fin, despues de haberla lavado y

secado, se la pesa vacía: se encontrará un peso p. Es claro que la relacion entre los pesos $\frac{p'-p}{p''-p'}$ es igual á la que existe entre los volúmenes de cloro y de oxígeno que entran en la constitucion del ácido hipocloroso. La experiencia hace ver que esta relacion es la de 2 á 1. Podemos deducir de aquí que el ácido hipocloroso está formado de 2 volúmenes de cloro y 1 volúmen de oxígeno, ó de 1 equivalente de cloro y 1 equivalente de oxígeno. Tendremos pues para la composicion en peso

1 eq.	cloro............	443,2	81,59
1 »	oxígeno..........	100,0	18,41
1 »	ácido hipocloroso..	543,2	100,00.

La experiencia directa ha dado, para la densidad del ácido hipocloroso, el número 2,977; lo cual demuestra que este gas está formado de 2 volúmenes de cloro y 1 de oxígeno condensados en 2 volúmenes.

En efecto,

2 vol. cloro pesan...	4,880
1 » oxígeno......	1,105
	5,985,

cuya mitad es igual á 2,992.

Si se vierte ácido clorhídrico en una disolucion concentrada de ácido hipocloroso, se obtiene un desprendimiento abundante de cloro. Mas si se mezclan los dos líquidos muy enfriados, el cloro no se desprende, y se combina con el agua formando hidrato de cloro, que se solidifica.

Acido cloroso, ClO^3.

§ 181. Tratando el clorato de potasa por el ácido nítrico, se disuelve en este líquido sin coloracion, siempre que la temperatura no pase de 50 ó 60°; pero si se vierte ácido nitroso en la disolucion, ó si se hace pasar por ella una corriente de deutóxido de azoe, hay al instante reaccion, y se desprende un gas amarillo, que es el ácido cloroso. El medio mas fácil para preparar este ácido consiste en calentar una mezcla de clorato de potasa, ácido nítrico y ácido arsenioso. El ácido arsenioso convierte al nítrico en nitroso, que obra á su vez sobre el ácido clórico, quitándole oxígeno y haciéndole pasar al estado de ácido cloroso. El experimento se ejecuta del modo siguiente:

Se toman 3 partes de ácido arsenioso,
4 » de clorato de potasa.

Se pulverizan juntas estas dos sustancias, se echa agua hasta formar una papilla líquida, y despues se incorpora á esta una mezcla de

12	partes	de ácido nítrico ordinario,
4	»	de agua;

se introduce el todo en un matraz, que se llena hasta el cuello, y se calienta lentamente al baño-maría.

El ácido cloroso es un gas amarillo verdoso, que no se liquida, aun cuando se le ponga en una mezcla refrigerante de hielo y sal marina. El agua disuelve 5 ó 6 veces su volúmen de este gas, y toma un color amarillo de oro.

§ 182. El análisis del ácido cloroso no puede hacerse por el procedimiento que hemos empleado para el ácido hipocloroso, porque se forma constantemente, en la descomposicion del ácido cloroso por el calor, una pequeña cantidad de ácido perclórico, que altera los resultados del análisis.

El ácido cloroso se combina con las bases y forma compuestos bien definidos; pero es menester un cierto tiempo para que se efectúe la combinacion. Vertiendo en la disolucion de clorito de potasa otra de nitrato de plomo, se obtiene un precipitado blanco amarillento de clorito de plomo, $PbO.ClO^3$, que puede analizarse fácilmente trasformándolo en sulfato con el ácido sulfúrico. Se encuentra de este modo que 100 partes de clorito de plomo dan 88,62 de sulfato de plomo, que encierran 65,23 de óxido de plomo: y así 100 partes de clorito de plomo estarán compuestas de

Oxido de plomo..........	65,23
Acido cloroso............	34,77
	100,00.

Ahora bien, el equivalente del óxido de plomo es 1394,5, luego el clorito de plomo se hallará formado de

1 eq.	óxido de plomo......	1394,5
1 »	ácido cloroso........	743,2
1 »	clorito de plomo.....	2137,7:

composicion que viene á ser igual á la anterior, como es facil asegurarse por una simple proporcion.

De aquí se sigue que el equivalente 743,2 del ácido cloroso corresponde á la composicion siguiente de este ácido:

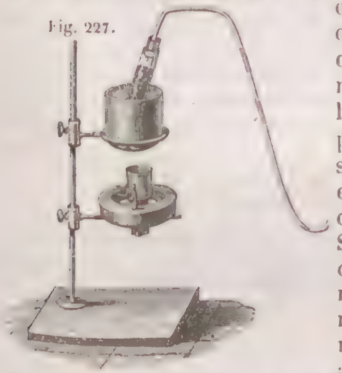
1 eq.	cloro.......	443,2	59,63
3 »	oxígeno.....	300,0	40,37
1 »	ácido cloroso.	743,2	100,00.

Por otra parte, puede determinarse directamente la composicion del ácido cloroso, buscando la cantidad de cloro contenida en 100 partes de clorito de plomo. Para el efecto, se funde en un crisol de platino un peso conocido de clorito de plomo, mezclado íntimamente con 2 veces su peso de carbonato de potasa ó de sosa. El óxido de plomo pasa al estado de carbonato, y el ácido cloroso produce cloruro de potasio. Se trata la masa fundida por el agua caliente, que disuelve el cloruro de potasio y el carbonato de potasa en exceso, miéntras el carbonato de plomo queda como residuo insoluble. Se satura con ácido nítrico el líquido filtrado, y se le trata por el nitrato de plata en exceso, que precipita todo el cloro en estado de cloruro de plata. La cantidad de cloro contenida en las 100 partes de clorito de plomo se deduce del peso de cloruro de plata obtenido.

Acido hipoclórico, ClO^4.

§ 483. Este compuesto se prepara tratando por el ácido sulfúrico concentrado el clorato de potasa; pero la operacion exige muchas precauciones, pues el ácido hipoclórico detona con tal violencia que haria saltar en pedazos todo el aparato.

Se prefiere en este caso el clorato de potasa fundido. Se quebranta esta sal en fragmentos gruesos, y se la introduce en un tubo cerrado por un extremo (fig. 227); se echa ácido sulfúrico, y se adapta á la extremidad abierta un tubo encorvado que baje hasta el fondo de un pequeño frasco perfectamente seco. Se calienta el tubo al baño-maría, lentamente y con precaucion. Importa mucho no sumergir el tubo en el baño hasta el nivel de la mezcla, pues de lo contrario podria haber explosion. Se desprende un gas amarillo, que no puede recogerse sobre el mercurio, en razon á que este metal le descompone instantáneamente, ni tampoco sobre el agua, que le disuelve en cantidad bastante considerable. Si se enfria con una mezcla frigorífica el frasco seco en que se recoge el ácido hipoclórico, este cuerpo se liquida y forma un líquido rojo que hierve á $+20°$. El ácido hipocló-


Fig. 227.

rico detona con mucha violencia, aun en el estado líquido. El agua disuelve 20 veces su volúmen.

El análisis del ácido hipoclórico puede hacerse por el procedimiento descrito para el ácido hipocloroso ; y se encuentra que está formado de 1 volúmen de cloro y 2 volúmenes de oxígeno,

ó de	1 eq. cloro..........	443,2	52,56
	4 » oxígeno........	400,0	47,44
	1 » ácido hipoclórico.	843,2	100,00.

§ 184. El ácido hipoclórico no es un ácido particular : en contacto con las bases da un clorato y un clorito. Convendrá pues considerar este cuerpo como análogo al ácido hiponítrico, es decir, suponerlo formado de 1 equivalente de ácido clórico y de 1 equivalente de ácido cloroso; se tiene en efecto

$$2ClO^4 = ClO^5 + ClO^3.$$

Recapitulacion de las combinaciones del cloro con el oxígeno. Equivalente del cloro.

§ 185. Las cinco combinaciones del cloro con el oxígeno, que acabamos de estudiar, presentan las composiciones siguientes :

Acido hipocloroso....	Cloro...	81,59
	Oxígeno.	18,41
		100,00
Acido cloroso.......	Cloro...	59,63
	Oxígeno.	40,37
		100,00
Acido hipoclórico....	Cloro...	52,56
	Oxígeno.	47,44
		100,00
Acido clórico......	Cloro...	47,00
	Oxígeno.	53,00
		100,00
Acido perclórico.....	Cloro...	38,77
	Oxígeno.	61,23
		100,00.

Refiriendo estas composiciones á una misma cantidad 100 de cloro, tendremos :

Acido hipocloroso...	Cloro...	100,00
	Oxígeno.	22,56
		122,56
Acido cloroso.......	Cloro...	100,00
	Oxígeno.	67,70
		167,70
Acido hipoclórico....	Cloro...	100,00
	Oxígeno.	90,24
		190,24
Acido clórico.......	Cloro...	100,00
	Oxígeno.	112,77
		212,77
Acido perclórico.....	Cloro...	100,00
	Oxígeno.	157,93
		257,93.

Las cantidades de oxígeno combinadas con la misma cantidad de cloro, se hallan entre sí como los números 1 : 3 : 4 : 5 : 7. Estos números son los mas sencillos que pudieran presentar relaciones de esta especie. Supongamos pues que la primera combinacion, el ácido hipocloroso, esté formada de 1 equivalente de cloro y de 1 equivalente de oxígeno : el valor numérico del equivalente de cloro será dado por la proporcion :

$$18,41 : 81,59 :: 100 : x, \text{ de donde } x = 443,2.$$

Las combinaciones del cloro con el oxígeno tendrán entónces las fórmulas y los equivalentes numéricos que siguen :

Acido hipocloroso........	ClO	543,2
Acido cloroso............	ClO^3	743,2
Acido hipoclórico........	ClO^4	843,2
Acido clórico............	ClO^5	943,2
Acido perclórico.........	ClO^7	1143,2.

Ahora bien, al determinar los pesos de estos diversos ácidos, que

forman una sal neutra anhidra con 1 equivalente de base, hemos hallado que

El equivalente del ácido cloroso es......		743,2
»	del ácido clórico........	943,2
»	del ácido perclórico.......	1143,2.

Las fórmulas de los tres ácidos cloroso, clórico y perclórico, tales como acabamos de establecerlas, se hallan pues confirmadas por las consideraciones relativas á la composicion de las sales neutras. En cuanto á las fórmulas de los ácidos hipocloroso é hipoclórico, tal vez deban escribirse Cl^2O^2 para el primero, y $Cl^2O^8 = ClO^3.ClO^5$ para el segundo. Se ve, por esta última expresion que damos á la fórmula del ácido hipoclórico, que este puede considerarse como una combinacion en proporciones definidas del ácido cloroso con el ácido clórico.

Adoptaremos pues el número 443.2 por *equivalente del cloro ;* que por otra parte, segun hemos de ver, goza la propiedad de dar la mayor sencillez posible á las fórmulas de las numerosas combinaciones del cloro.

Pero sabemos que en el ácido clórico 1 volúmen de cloro está combinado con 2 $\frac{1}{2}$ de oxígeno, ó 2 volúmenes de cloro con 5 de oxígeno: que en el ácido perclórico entran 1 volúmen de cloro y $3\frac{1}{2}$ de oxígeno, ó 2 volúmenes de cloro y 7 de oxígeno. Luego, hallándose representado el equivalente en volúmen del oxígeno por 1 volúmen, claro está que el equivalente en volúmen del cloro será de 2 volúmenes.

§ 186. Si admitimos la hipótesis (página 123) de que todos los gases simples contienen, bajo volúmen igual, el mismo número de átomos, podremos decir que en el ácido clórico 2 átomos de cloro están combinados con 5 de oxígeno, y que en el ácido perclórico, 2 átomos de cloro se hallan combinados con 7 de oxígeno.

El equivalente del cloro = 443.2 corresponde segun esto á 2 átomos, y el peso atómico del cloro es 221.6, esto es, la mitad del equivalente.

Las fórmulas atómicas de las combinaciones del cloro con el oxígeno se escribirán del modo siguiente:

Acido hipocloroso......	Cl^2O	ó	~~Cl~~O.
Acido cloroso..........	Cl^2O^3		~~Cl~~O^3.
Acido hipoclórico......	Cl^2O^4		~~Cl~~O^4.
Acido clórico..........	Cl^2O^5		~~Cl~~O^5.
Acido perclórico.......	Cl^2O^7		~~Cl~~O^7.

COMBINACIONES DEL CLORO CON EL HIDRÓGENO.

Acido clorhidrico, HCl.

§ 187. El cloro y el hidrógeno se combinan directamente entre sí; y cuando se aproxima una cerilla encendida á la abertura de un pequeño frasco que contenga una mezcla de estos dos gases, la combinacion se efectúa con explosion. Se produce tambien una explosion, exponiendo el frasco que encierra la mezcla á los rayos directos del sol. Si el frasco se deja expuesto solamente á la luz difusa, habrá combinacion todavía, aunque con lentitud, y para que se realice completamente, es menester tanto mas tiempo cuanto la luz sea menos intensa. Por último, en la oscuridad absoluta, parece que los dos gases quedan sin accion ninguna mútuamente. Vemos que la luz produce en estos casos el mismo efecto que el calor.

Puede efectuarse la combinacion de los dos gases de tal modo que se vean las proporciones en que se combinan. Se escoge un globo de vidrio con cuello, y un frasco de igual capacidad; se esmerila el cuello del globo y el del frasco, de manera que el primero pueda cerrar herméticamente al segundo. Desecados bien estos dos vasos, se llena el frasco de cloro (fig. 228), y el globo de gas hidrógeno (fig. 229), uno y otro gas desecados perfectamente; despues se adapta el globo sobre el frasco, y se tienen así dos volúmenes iguales de cloro y de hidrógeno. Para auxiliar la mezcla entre ambos gases, se invierte el aparato, y se le mantiene invertido durante algunos instantes (fig. 230): el cloro, en virtud de su mayor densidad, tiende á bajar y á entrar en el globo, y el hidrógeno á subir y penetrar en el frasco. Se deja abandonado el aparato en un aposento claro, pero que no reciba los rayos directos del sol. El color verde del cloro pierde rápidamente su intensidad, y cuando deja de ser sensible, se expone el aparato durante algunos minutos á los rayos solares, que acaban la combinacion, sin temor ya de que pueda haber explosion. Se desmonta el aparato dentro del mercurio: se observa que no sale gas, y que el líquido no sube por los vasos. El hidrógeno y el cloro, combinándose, han producido pues un compuesto gaseoso, que ha conservado el mismo volúmen bajo la misma



Fig. 228. Fig. 229. Fig. 230.

presion. La descoloracion del gas y la inalterabilidad del mercurio prueban que no ha quedado cloro libre, pero podria haber hidrógeno en exceso. Se reconoce que tampoco queda hidrógeno, introduciendo en el vaso una pequeña cantidad de agua; pues el gas es absorbido en su totalidad, y el mercurio entra y llena el vaso. El agua que se ha introducido se pone muy ácida.

Este experimento prueba que 1 volúmen de hidrógeno se combina con 1 volúmen de cloro, produciendo 2 volúmenes de un gas ácido muy soluble en el agua. Este gas es el *ácido clorhídrico*.

§ 188. Se prepara el gas ácido clorhídrico tratando la sal marina, ó cloruro de sodio, por el ácido sulfúrico concentrado. El agua contenida en el ácido sulfúrico interviene en la reaccion.

Cloruro de sodio..... { Cloro .... }
{ Sodio. .... } Sosa.. } Acido clorhídrico.
Acido sulfúrico concentrado.......... { Agua { Oxígeno. ... }
{ Hidrógeno. .... } Sulfato de sosa.
{ Acido sulfúrico. .... }

La reaccion se representa por la equivalencia siguiente:

$$NaCl + SO^3 + HO = NaO.SO^3 + HCl.$$

Se recoge el ácido clorhídrico sobre el mercurio, en una campana bien seca.

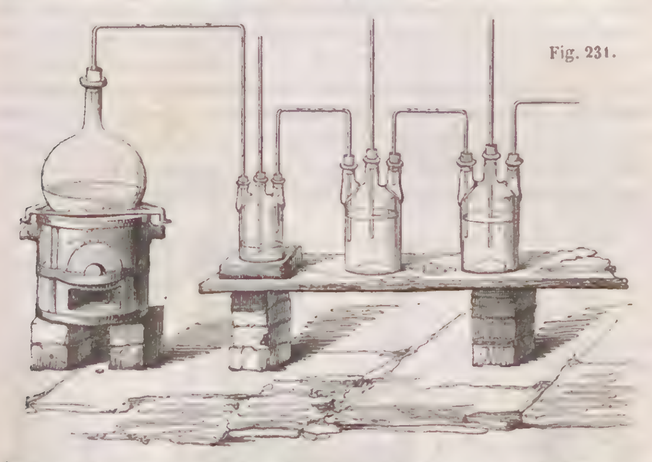
§ 189. El gas ácido clorhídrico es incoloro: da humos abundantes en el aire, los cuales no se forman cuando este flúido se halla completamente seco. El aire atmosférico contiene siempre una cierta cantidad de vapor de agua; el gas ácido clorhídrico se combina con este vapor, y el compuesto que de aquí resulta, teniendo una tension inferior á la del agua pura, se precipita en forma de niebla. El ácido clorhídrico es muy soluble en el agua, pues á la temperatura de 0° este líquido disuelve mas de 500 veces su volúmen. Esta solubilidad disminuye á proporcion que la temperatura aumenta y así es que á 20° el agua disuelve solamente 460 veces su volúmen. La absorcion del ácido clorhídrico por el agua es instantánea, y se demuestra del mismo modo que lo hemos hecho para el amoniaco (§ 128).

La disolucion de ácido clorhídrico, concentrado en frio, tiene por densidad 1,21. Si se calienta, deja desprender primeramente una cantidad considerable de gas ácido; pero cesa muy pronto este desprendimiento, y destila un líquido ácido que presenta una composicion constante; siendo la temperatura de ebullicion en este caso de 110°.

La disolucion concentrada de ácido clorhídrico esparce humos abundantes en el aire.

Sometiendo á la destilacion una disolucion muy diluida, destila al principio mas agua que ácido, y el líquido se concentra en la retorta, hasta adquirir la composicion del ácido normal que hierve á 110°.

La disolucion del ácido clorhídrico en el agua es uno de los reactivos que mas se emplean en los laboratorios. Para prepararla, se echan en un gran matraz (fig. 231) partes iguales de sal marina y


Fig. 231.

ácido sulfúrico concentrado, al cual se le añade una cantidad de agua igual al tercio de su peso. Este matraz comunica con un primer frasco tubulado, que hace las veces de frasco lavador, y cuyo objeto es retener las pequeñas porciones de ácido sulfúrico arrastradas por el gas. A continuacion de este primer frasco hay dispuestos otros dos de mayores dimensiones, y llenos de agua hasta las tres cuartas partes de su capacidad. Los tubos que conducen el gas penetran un poco en el líquido; pues como la disolucion adquiere mayor densidad segun se va concentrando, las capas líquidas superiores son siempre las menos cargadas, y por lo mismo las mas propias para disolver rápidamente el gas.

Se prepara rara vez en los laboratorios la disolucion de ácido clorhídrico. Este líquido es fabricado en grande, y no se encuentra muy caro en el comercio. Se le obtiene aun descomponiendo la sal marina por el ácido sulfúrico; pero en lugar de vasos de vidrio se emplean grandes cilindros de hierro colado, dispuestos horizontalmente en un horno, en los cuales se produce el gas, que pasa á

unos bombones de barro, llenos de agua hasta la mitad. Por lo demas, el aparato es exactamente igual al que se emplea para la fabricacion del ácido nítrico, y está representado en las figuras 181 y 182 (páginas 154 y 155).

Puede obtenerse tambien el ácido clorhídrico, sometiendo á la accion del fuego una mezcla de sal comun ó cloruro de sodio y de arcilla. El agua de combinacion de esta última sustancia se descompone, cuando la materia se enrojece al fuego: el oxígeno se fija sobre el sodio de la sal comun y forma sosa, que se combina con el ácido silícico de la arcilla, y el hidrógeno con el cloro da ácido clorhídrico que se desprende. En España se emplea todavía este procedimiento, tratando la mezcla de las materias en retortas de vidrio, y estableciendo la fabricacion en los mismos puntos en que se halla la del ácido nítrico, por iguales razones á las que llevamos expuestas al hablar de este ácido (página 156).

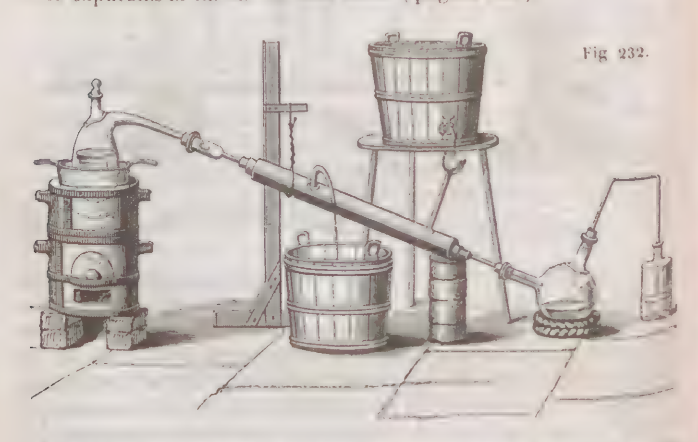


Fig. 232.

§ 190. Es muy raro que el acido clorhídrico* del comercio se encuentre puro; se halla casi siempre teñido de amarillo por el cloruro de hierro, y contiene ademas un poco de ácido sulfúrico, y algunas veces de ácido sulfuroso. Se le purifica fácilmente por destilacion; pero conviene echar preventivamente en el líquido una pequeña cantidad de cloruro de bario, y agitarlo: se precipita de este modo el ácido sul-

* El ácido clorhídrico se llama frecuentemente en el comercio *acido muriatico*, y este es el nombre que le daban los antiguos químicos, que consideraban al cloro como una combinacion de ácido muriatico y oxígeno, denominándole *acido muriatico oxigenado*.

fúrico en estado de sulfato de barita. Si el ácido contiene ácido sulfuroso, es menester hacer pasar por la disolucion algunas burbujas de cloro, que trasforman el ácido sulfuroso en ácido sulfúrico.

La figura 232 representa el aparato que se emplea para destilar el ácido clorhídrico. La retorta se calienta en un baño de arena. A continuacion del recipiente tubulado, se dispone un frasco con un poco de agua para absorber la mayor parte del gas que por la accion del calor se desprende de la disolucion.

La disolucion del ácido clorhídrico puro es perfectamente incolora.

§ 191. Hemos llegado á la composicion del gas ácido clorhídrico por la síntesis, pero puede determinarse mucho mas fácilmente por el análisis. Con este objeto se introduce en una campana encorvada (fig. 233), colocada sobre la cuba de mercurio, un volúmen conocido de gas ácido clorhídrico; despues, con auxilio de una varilla de hierro, se pasa al interior de la campana un glóbulo de potasio, que se coloca en su parte horizontal, y se calienta con una lámpara de alcohol. El potasio descompone al gas ácido clorhídrico, apoderándose del cloro y poniendo al hidrógeno en libertad. Se trasvasa el gas hidrógeno al tubo graduado que sirvió para medir el gas clorhídrico, y se observa que su volúmen es la mitad del que ántes ocupaba el ácido. Esto supuesto, si de la densidad del gas clorhídrico 1,2474

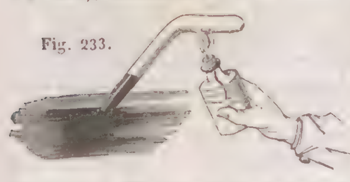


Fig. 233.

restamos la semi-densidad del gas hidrógeno 0,0345

quedará 1,2129

que poco mas ó menos viene á ser la semi-densidad del cloro. Resulta, pues, que 1 volúmen de gas ácido clorhídrico contiene $\frac{1}{2}$ volúmen de cloro y $\frac{1}{2}$ de hidrógeno, sin condensacion.

Si se desea conocer la composicion en peso de 100 partes de ácido clorhídrico, se establecerán las proporciones:

$$1,247 : 0,0345 :: 100 : x = 2,74$$

$$1,247 : 1,2129 :: 100 : y = 97,26.$$

Así pues, 100 partes de ácido clorhídrico contienen

Hidrógeno	2,74
Cloro	97,26
	100,00.

Se expresa tambien esta composicion refiriéndola al equivalente 12,50 del hidrógeno; se halla así

Hidrógeno	12,50
Cloro	443,20
Acido clorhídrico	455,70.

Pero, 443,20 es precisamente 1 *equivalente de cloro*. El ácido clorhídrico contiene segun esto 1 equivalente de hidrógeno y 1 de cloro. y su equivalente pesa 455,70.

1 volúmen de gas ácido clorhídrico contiene $\frac{1}{2}$ volúmen de hidrógeno y $\frac{1}{2}$ de cloro. Si referimos esta composicion á 2 volúmenes de hidrógeno, diremos que 4 volúmenes de gas ácido clorhídrico encierran 2 volúmenes de hidrógeno y 2 de cloro. El equivalente del cloro estará pues representado por 2 volúmenes, como el del hidrógeno, y el del ácido clorhídrico por 4 volúmenes.

Hemos visto (página 191) que 1 volúmen de gas amoniaco se combina con 1 volúmen de gas ácido clorhídrico para formar clorhidrato de amoniaco; y por consecuencia, 4 volúmenes ó 1 equivalente de amoniaco se combinarán con 4 volúmenes ó 1 equivalente de ácido clorhídrico. La fórmula del clorhidrato de amoniaco será pues

$$AzH^3.HCl.$$

No conocemos mas combinaciones del cloro con el hidrógeno.

COMBINACIONES DEL CLORO CON EL AZUFRE.

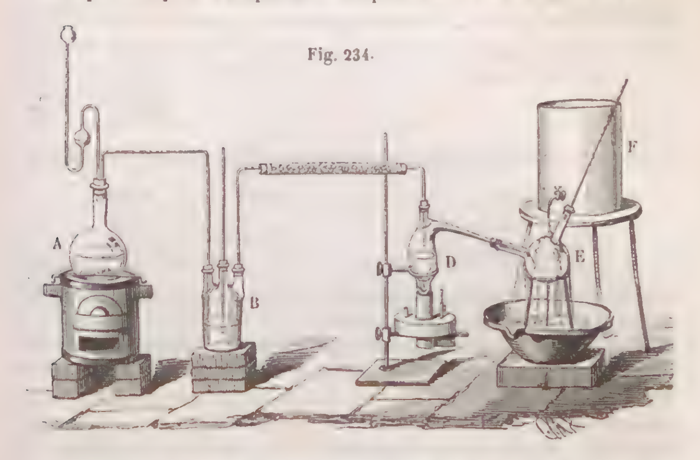
§ 192. El cloro y el azufre se combinan en muchas proporciones; pero algunos de estos compuestos solo se han obtenido combinados con otros cloruros, y no trataremos aquí mas que de las dos combinaciones que se conocen aisladas. La primera tiene por fórmula ClS^2, y no corresponde á ninguna de las combinaciones binarias conocidas que forman el cloro y el azufre, uniéndose respectivamente con el oxígeno, y en las cuales los dos primeros cuerpos hacen las veces de elemento electro-positivo.

La segunda combinacion tiene por fórmula ClS, y corresponde al ácido hipocloroso, ClO, ó al ácido hiposulfuroso, S^2O^2.

Para obtener el primer compuesto, es menester combinar el cloro con el azufre de modo que este último se halle en exceso; al paso que el segundo resulta, cuando es el cloro el que domina.

El aparato que se emplea está representado en la figura 234.

Fig. 234.



En el matraz A, se produce cloro mediante la accion del ácido clorhídrico sobre el peróxido de manganeso : el gas se lava en el frasco B, que contiene agua, y despues se deseca pasando por un tubo lleno de cloruro de calcio.

La retorta tubulada D contiene una cierta cantidad de azufre, y su cuello enchufa en el de un recipiente tubulado E, que se mantiene á una baja temperatura por medio de una corriente de agua fria que sale del vaso F. Se hace que el cloro se desprenda lentamente, y al mismo tiempo se calienta la retorta que contiene el azufre hasta una temperatura superior á 100°; el cloro que entra se hallará en presencia de un exceso de vapor de azufre, y formará solamente la primera combinacion ClS^2, que pasa por destilacion conforme se va produciendo. Se continúa así hasta que el azufre de la retorta haya desaparecido casi enteramente. El cloruro de azufre recogido en el recipiente contiene un exceso de azufre arrastrado por volatilizacion; pero se le purifica fácilmente destilándolo segunda vez. Siendo el azufre mucho menos volátil que el cloruro, quedará todo él en la retorta.

Este cloruro de azufre constituye un líquido amarillo rojizo, con un olor particular, desagradable; hierve á 138°, y su densidad, en el estado líquido, es 1,687. La densidad de su vapor hallada por la experiencia es 4,668.

En contacto del agua se descompone; se separa azufre y se for-

man ácidos clorhídrico, sulfúrico y sulfuroso. Su composicion es la siguiente:

2 eq.	azufre	400,0
1 »	cloro	443,2
		843,2.

1 volúmen de este cuerpo, en el estado de gas, se halla formado de

1 vol.	cloro	2,440
$\frac{1}{3}$ »	azufre $\frac{6,654}{3}$	2,218
	Densidad teórica	4,658.

Esta densidad teórica se aproxima mucho á la que se ha encontrado por la experiencia, y es 4,668.

Si se hace pasar cloro, hasta la saturacion, por una disolucion del cloruro precedente, este absorbe una gran cantidad de gas, y da un líquido de color rojo subido, que para la misma proporcion de azufre contiene el doble de cloro. Sometiendo este cuerpo á la accion del calor, se desprende desde luego el cloro que se hallaba en exceso, pero la ebullicion continúa con regularidad desde que la temperatura del líquido llega á 64°.

La densidad de este cloruro es 1,620; la de su vapor, 3,549.

Su composicion es

1 eq.	azufre	200,0	31,09
1 »	cloro	443,2	68,91
		643,2	100,00.

1 volúmen de vapor contiene

$\frac{1}{6}$ vol.	de vapor de azufre	1,109
1 »	cloro	2,440
		3,549.

§ 193. El análisis de los cloruros de azufre se ejecuta fácilmente del modo que sigue:

Se pesa cierta cantidad p de este cloruro en un tubo cerrado; se rompe una de sus extremidades, y se le deja caer en un frasco de 1 litro de cabida, lleno de agua hasta la mitad; se tapa en seguida el frasco y se agita. El cloruro de azufre se descompone, formándose ácido clorhídrico, ácidos sulfuroso y sulfúrico, y un deposito de azufre; se separa este por filtracion, temiendo mucho cuidado de no perder la mas pequeña gota del líquido, y se vierte en la disolucion nitrato de plata, hasta que ya no se forme precipitado. Se recoge

el cloruro de plata precipitado, y se le pesa, despues de haberlo secado. Sea P su peso; si su composicion es conocida, se sabrá que contiene un peso p' de cloro, y se deducirá del experimento que un peso p de cloruro de azufre contiene p' de cloro, y de consiguiente $(p-p')$ de azufre.

COMBINACION DEL CLORO CON EL AZOE.

Cloruro de azoe, $AzCl^3$.

§ 194. Este compuesto se obtiene haciendo pasar cloro por una disolucion de clorhidrato de amoniaco ó de una sal amoniacal cualquiera. La disolucion toma un color amarillo, y no tardan en formarse gotas oleaginosas amarillas, que caen en el fondo del frasco. Una temperatura de 25 á 30° favorece la formacion de este compuesto. La reaccion se verifica segun la equivalencia siguiente:

$$AzH^3.HCl + 6Cl = 4HCl + AzCl^3.$$

Es muy arriesgado manejar estas gotas oleaginosas, pues producen á menudo detonaciones espontáneas, que podrian ocasionar accidentes graves. Por esta razon es importante conocer bien las circunstancias en que se forma esta materia peligrosa, menos para prepararla que para evitar el que se produzca accidentalmente.

El cloruro de azoe es un líquido amarillo anaranjado, de una densidad igual á 1,653. Puede ser destilado sin alteracion bajo una presion menor que la de la atmósfera; pero su vapor detona con una violencia suma cuando ha adquirido la temperatura de 100°.

El cloruro de azoe detona inmediatamente á la temperatura ordinaria, puesto en contacto con ciertos cuerpos, principalmente con el fósforo, los aceites fijos y esencia de trementina. Su fórmula es $AzCl^3$, y corresponde al amoniaco, AzH^3.

Agua regia.

§ 195. Se llama *agua regia* una mezcla de ácido clorhídrico y de ácido nítrico. Este nombre fué dado por los alquimistas, en razon á que esta mezcla tiene la propiedad de disolver el oro, que aquellos consideraban como el *rey de los metales*.

Cuando se hace una mezcla de ácido clorhídrico y nítrico, y se somete á la accion del calor, el líquido se tiñe de amarillo; si se hace hervir, se desprende un gas amarillo, cuyo olor recuerda á un tiempo el del cloro y el del vapor nitroso. Este gas está constituido por una

mezcla de cloro y de dos compuestos particulares, á que daremos los nombres de ácido *hipocloronítrico* y ácido *cloronitroso*. Estos dos compuestos se desprenden en proporciones diferentes segun la composicion del agua regia, y segun la reaccion se halle mas ó menos adelantada. Se prepara el ácido *hipocloronítrico* calentando al baño-maría, en un frasco A (fig. 235), agua regia formada con

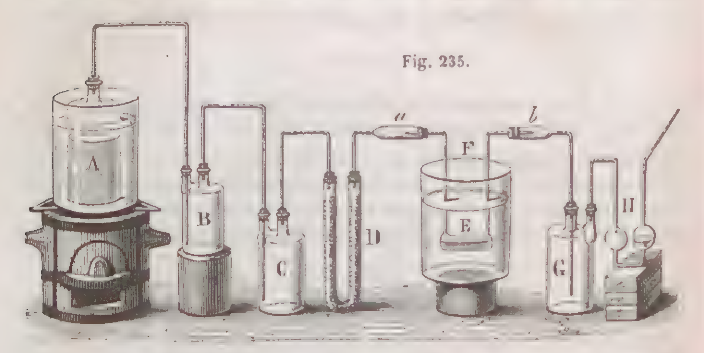


Fig. 235.

1 volúmen de ácido nítrico y 3 volúmenes de ácido clorhídrico. Se hace pasar el producto gaseoso por un primer frasco B, donde se van depositando algunas gotas de líquido; despues por un tubo D lleno de fragmentos de cloruro de calcio, que absorbe la humedad; y en fin, por una ampolla E rodeada de una mezcla frigorífica. Para observar el color del gas, se dispone ordinariamente, ántes de la ampolla, un frasco vacío C, y á continuacion de ella otro igual G; terminando el aparato por un tubo con bolas H, que contenga un poco de agua, á fin de apreciar la rapidez del desprendimiento.

El frasco C toma un color amarillo de limon, ligeramente pardo, y este es el color propio de la mezcla gaseosa. La mayor parte de los gases hipocloronítrico y cloronitroso se condensa en la ampolla bajo la forma de un líquido rojo pardo, y el gas que llega al frasco G presenta el color ordinario del cloro.

Cuando se ha condensado en la ampolla una cantidad suficiente de líquido, se cierran á la lámpara las puntas *a* y *b*, si se quiere conservar el producto. Con las proporciones de ácido nítrico y clorhídrico que hemos supuesto, la sustancia que primero se condensa en la ampolla estará formada de ácido hipocloronítrico casi puro, el cual constituye un líquido muy volátil que hierva hácia —7°. Su composicion se halla representada por la fórmula AzO^2Cl^2, y puede referirse á la del ácido hiponítrico, suponiendo reemplazado-

2 equivalentes de oxígeno por 2 de cloro. La reaccion que le da orígen se expresa por la ecuacion siguiente :

$$AzO^3 + 3HCl = AzO^2.Cl^2 + 3HO + Cl.$$

Si el experimento continúa, el producto condensado va adquiriendo proporciones mas y mas considerables de ácido cloronitroso. Este último compuesto es algo mas volátil que el ácido hipocloronítrico; su fórmula es AzO^2Cl, y corresponde á la del ácido nitroso en que 1 eq. de oxígeno ha sido sustituido por 1 eq. de cloro.

Pueden obtenerse los ácidos cloronitroso é hipocloronítrico por la combinacion directa del cloro con el deutóxido de azoe, dirigiendo los productos gaseosos á una ampolla enfriada con una mezcla de hielo y cloruro de calcio cristalizado.

Cuando se ataca un cuerpo por el agua regia, puede admitirse en el mayor número de casos, que se verifica, entre los ácidos nítrico y clorhídrico, la reaccion siguiente :

$$AzO^5 + 2HCl = AzO^3 + 2HO + 2Cl.$$

Sumergiendo un metal en el líquido, se disuelve rápidamente pasando al estado de cloruro, como lo haria en una disolucion concentrada de cloro. En efecto, el metal encuentra al cloro en estado naciente dentro del agua regia, es decir, en las circunstancias precisamente en que la combinacion se efectúa con mas facilidad.

El agua regia obra como un oxidante muy enérgico; así es que trasforma el azufre en ácido sulfúrico con mucha mas rapidez que lo hace el ácido nítrico solo. Esta circunstancia depende, por una parte, de que el ácido nítrico mezclado con ácido nitroso es un oxidante mas poderoso que el ácido nítrico solo; y por otra, de que el cloro, en presencia del agua, obra el mismo como un oxidante enérgico, formando ácido clorhídrico y dejando al oxígeno en estado naciente.

BROMO.

Equivalente = 978,3.

§ 196. El bromo * es líquido á la temperatura ordinaria; y su color es de un rojo pardo muy intenso; casi negro cuando la capa líquida tiene mucho espesor, y de un amarillo rojizo visto por refraccion, si la capa es muy delgada. El bromo se congela á —20°, formando una masa cristalina hojosa, y de una tinta que tira al gris. Hierve á 47°, y la tension de su vapor es considerable á la temperatura ordinaria. Una gota de bromo, echada en un frasco, se volatiliza prontamente, y lo llena de vapores de un rojo pardo.

La densidad del bromo líquido es 2,97, y la de su vapor, 5,39.

El bromo exhala un olor particular, muy desagradable, que ha sido causa de darle el nombre que lleva (de βρῶμος, mal olor). Lo mismo que el cloro, obra sobre la economía animal como un veneno, y ataca vivamente los órganos de la respiracion.

El bromo presenta en tódas sus combinaciones muchísima analogía con el cloro, si bien sus afinidades son menos enérgicas; pues el cloro desaloja al bromo de sus combinaciones. Este cuerpo posee, como el cloro, la propiedad de destruir las materias colorantes orgánicas.

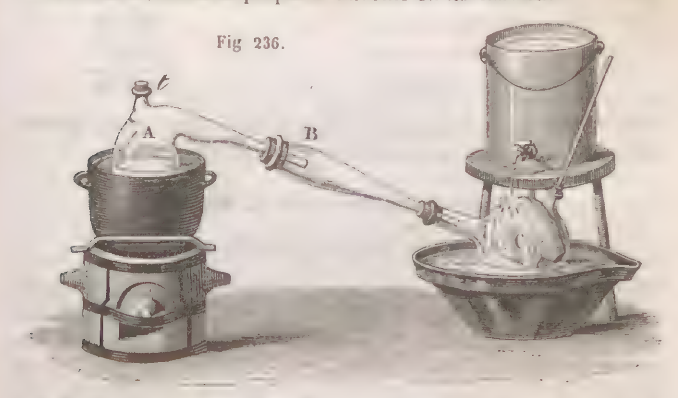
El bromo, abandonado en contacto del agua á la temperatura de 0°, se combina con una parte de este líquido, y forma un hidrato cristalizado de un rojo pardo, y mas estable que el hidrato correspondiente de cloro, pues no se destruye sino á los 15 ó 20°.

Puede extraerse el bromo del bromuro de sodio por el procedimiento que nos ha servido para preparar el cloro por medio del cloruro de sodio. Basta calentar una mezcla de bromuro de sodio, peróxido de manganeso y ácido sulfúrico diluido en su peso de agua. Se introduce esta mezcla en una retorta tubulada (fig. 236), vertiéndola con un embudo por la boca *t*. El cuello de la retorta se ajusta por medio de un tapon á una alargadera B, que comunica con un recipiente C, enfriado por una corriente de agua muy fria, ó mejor aun, rodeándolo de hielo. Se calienta la retorta al baño-maría, disponiéndola como se ve en la figura. Por lo demas, la reaccion es exactamente la misma que para el cloro: se forman sulfatos de sosa y de manganeso, que quedan en la retorta, y el

* El bromo fué descubierto en 1826 por M. Balard en las aguas madres de las salinas del Mediterráneo.

bromo pasa por destilacion y se condensa en el recipiente. Veremos mas adelante, cómo se prepara el bromo en las fábricas.

Fig 236.



Este cuerpo ha sido siempre demasiado caro, y por esto no ha tenido todavía aplicaciones en las artes.

COMBINACIONES DEL BROMO CON EL OXÍGENO.

Acido brómico, BrO^5.

§ 497. El ácido brómico se extrae del bromato de potasa.

Se prepara el bromato de potasa, vertiendo bromo gota á gota en una disolucion concentrada de potasa, hasta que ya no se disuelva en el líquido. Se hierve la disolucion algun tiempo, se deja enfriar despues; y se depositan de este modo pequeños cristales de bromato de potasa. El ácido brómico se extrae de este bromato, del mismo modo exactamente que el ácido clorico del clorato de potasa.

La disolucion de ácido brómico puede evaporarse á un calor suave hasta la consistencia de jarabe, pero si la evaporacion continúa, el ácido brómico se descompone.

La composicion del ácido brómico se obtiene por el análisis del bromato de potasa, de la misma manera que hemos deducido por el del clorato la composicion del ácido clórico.

Se encuentra así que el ácido brómico está compuesto de

Bromo	66,47
Oxígeno	33,83
	100,00.

Admitiremos que el ácido brómico tenga la fórmula BrO^5, correspondiente á la del ácido clórico, y hallaremos para su composicion

1 eq.	bromo........................	978,30
5 »	oxígeno........................	500,00
1 »	ácido brómico	1478,30.

El bromo forma probablemente con el oxígeno otras muchas combinaciones, pero no han sido estudiadas todavía.

COMBINACION DEL BROMO CON EL HIDRÓGENO.

Acido bromhídrico, HBr.

§ 198. El bromo se combina con el hidrógeno, aunque con mucha mas dificultad que lo hace el cloro. Así es que una mezcla de hidrógeno y vapor de bromo no se inflama cuando se aproxima una cerilla encendida, y puede ser expuesta á los rayos directos del sol sin que la combinacion se verifique; pero se efectúa esta haciendo pasar la mezcla por un tubo de porcelana calentado hasta el rojo.

Cuando se trata el bromuro de sodio por el ácido sulfúrico concentrado, se desprende un gas ácido, que da humos al aire, y es el ácido bromhídrico; pero este gas no es puro, y contiene ácido sulfuroso y vapor de bromo, lo cual consiste en que el ácido bromhídrico es descompuesto por el ácido sulfúrico concentrado, formándose agua, ácido sulfuroso y bromo.

Acido bromhídrico... { Bromo. / Hidrógeno. } Agua.
Acido sulfúrico...... { Oxígeno... } Agua. / Acido sulfuroso.

$$HBr + SO^3 = SO^2 + HO + Br.$$

Se obtiene gas ácido bromhídrico puro, descomponiendo el bromuro de fósforo por una pequeña cantidad de agua.

Bromuro de fósforo.... { Bromo................... / Fósforo.... } Acido fosforoso. } Acido bromhídrico.
Agua. .... { Oxígeno... } Acido fosforoso. / Hidrógeno................ } Acido bromhídrico.

La reaccion se representa por la ecuacion siguiente:

$$PhBr^3 + 3HO = PhO^3 + 3HBr.$$

Se hace este experimento por medio del aparato representado en la figura 237, y que consiste en un tubo encorvado *abcde*, abierto por sus dos extremos. Se ponen en *d* algunos pedazos de fósforo, y se

acaba de llenar la rama *de* con pequeños fragmentos de vidrio mojados. Por la abertura *a* se echa el bromo, que se reúne en la parte encorvada *b*, la cual se calienta despues, aproximando un carbon hecho ascua; el bromo se volatiliza, y encontrando al fósforo se combina con él; el bromuro de fósforo formado se destruye inmediatamente por el contacto del agua, produciendo ácido fosforoso, que queda en el tubo, y gas ácido bromhídrico, que se desprende y puede recogerse sobre el mercurio. Es necesario poner muy poca agua en el tubo, pues de lo contrario el ácido bromhídrico se disolveria en su totalidad.

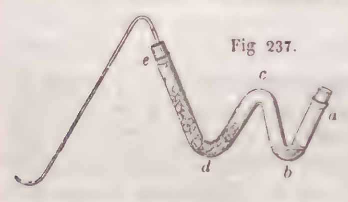


Fig 237.

Este ácido es un gas incoloro, que humea al aire, y tiene por densidad 2,731. El cloro lo descompone apoderándose del hidrógeno para formar ácido clorhídrico, y dejando en libertad al bromo, que aparece bajo la forma de un vapor pardo. Si se pone el cloro en exceso, se produce cloruro de bromo. El ácido bromhídrico es muy soluble en el agua; así es que una disolucion concentrada esparce abundantes humos en el aire.

§ 199. El análisis del ácido bromhídrico se hace como el del ácido clorhídrico, descomponiendo por el potasio, en una campana encorvada, un volúmen conocido de gas ácido bromhídrico; y se encuentra de este modo que 1 volúmen de ácido bromhídrico contiene $\frac{1}{2}$ de hidrógeno. Ahora bien, si de la densidad del ácido

bromhídrico	2,7310
se resta la semi-densidad del hidrógeno	0,0344
queda	2,6966

es decir, la semi-densidad del vapor de bromo. Así el gas bromhídrico se halla compuesto del mismo modo que el gas clorhídrico; pues, segun se ve, contiene $\frac{1}{2}$ volúmen de hidrógeno y $\frac{1}{2}$ de vapor de bromo. Su composicion en peso es

1 eq. hidrógeno	12,50	1,26
1 » bromo	978,30	98,74
1 » ácido bromhídrico......	990,80	100,00.

Tomaremos por equivalente del bromo el número 978,30, y el equivalente del ácido bromhídrico será en este caso 990,80. El equivalente en volúmen del ácido gaseoso estará representado por 4 volúmenes.

IODO.

Equivalente = 1578,2.

§ 200. El iodo* es sólido á la temperatura ordinaria, y se presenta en laminillas ó pequeñas escamas de un color gris azulado intenso, dotadas en alto grado de brillo metálico. Se funde á 107°, y constituye un líquido pardo casi negro; hierve hácia los 180°, produciendo vapores de un color violeta muy subido. El iodo da vapores muy sensibles á la temperatura ordinaria, que son mucho mas abundantes hácia los 50 ó 60°, y presentan entónces un hermoso color de púrpura. Este color ha motivado el nombre de iodo (de ἰωδής, violado). El vapor de iodo tiene un olor particular que se parece algo al del cloro.

El iodo cristaliza fácilmente. Se encuentran á menudo en la parte superior de los frascos que contienen iodo, cristales perfectamente regulares que se han formado por sublimacion. El iodo cristaliza tambien con mucha facilidad por via de disolucion, cuya prueba la encontraremos al tratar del ácido iodhídrico.

El agua disuelve solamente una cantidad muy ténue de iodo, $\frac{1}{7000}$ poco mas ó menos, tiñéndose en este caso de amarillo. El iodo existe probablemente en esta disolucion en estado de hidrato. El agua disuelve cantidades mucho mas considerables de iodo, cuando tiene ciertos cuerpos en disolucion, señaladamente ioduros ó ácido iodhídrico, y adquiere entónces un color pardo muy oscuro.

La densidad del iodo sólido es 4,95, y la de su vapor, 8,716.

El iodo ofrece en sus combinaciones una analogía grande con el cloro y bromo, aunque sus afinidades son mas débiles. No destruye casi ninguna de las materias orgánicas, y los colores vegetales resisten, en general, á su disolucion. El iodo se combina con muchas materias orgánicas, y les comunica colores particulares. Produce manchas amarillas en la piel, que desaparecen prontamente.

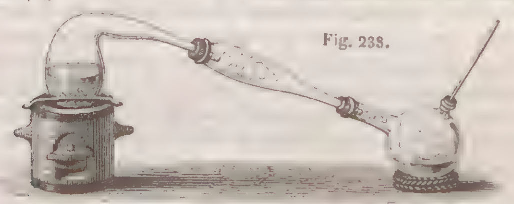
El fenómeno de coloracion mas notable que presenta el iodo es el que produce con el almidon: basta una pequeñísima cantidad de iodo para dar un color azul muy intenso á una masa considerable de almidon. Se emplea este carácter en los laboratorios para patentizar la presencia del iodo en los líquidos donde se sospeche que exista solo una muy ligera porcion de este cuerpo; y en efecto, puede demostrarse por este medio la presencia de una millonésima

* El iodo lo descubrió Courtois en 1812, y sus propiedades han sido estudiadas or M. Gay-Lussac.

de iodo en una disolucion. Se usa el almidon en pasta ó disuelto en el agua hirviendo, despues de enfriada completamente la disolucion.

El iodo es un veneno muy activo, y sin embargo se emplea en medicina para el tratamiento de las paperas y enfermedas escrofulosas.

Se extrae el iodo del ioduro de sodio, tratando esta sal por el peróxido de manganeso y ácido sulfúrico dilatado en un peso de agua igual al suyo, valiéndose del mismo aparato que para la extraccion del bromo (fig. 238). El iodo se condensa en forma de lentejuelas


Fig. 238.

cristalinas en la alargadera y recipiente. Se obtiene el iodo con mas facilidad, descomponiendo una disolucion de ioduro de potasio por una corriente de cloro : el iodo se precipita en forma de un polvo gris, que se lava con un poco de agua, y se purifica en seguida por sublimacion. Diremos mas adelante cómo se prepara el iodo en las fábricas.

COMBINACIONES DEL IODO CON EL OXÍGENO.

§ 201. Se conocen tres combinaciones del iodo con el oxígeno :

1° El ácido hipoiódico . . . IoO^4
2° El ácido iódico . . . . IoO^5
3° El ácido hiperiódico . . . IoO^7.

Trataremos solamente de las dos últimas.

Acido iódico, IoO^5.

§ 202. Se obtiene el ácido iódico calentando iodo con ácido nítrico que tenga el máximo de concentracion. Cuando el iodo ha desaparecido totalmente, se deja enfriar el líquido, y la mayor parte del ácido iódico se precipita en forma de cristales.

Puede obtenerse igualmente el ácido iódico por medio del iodato de potasa. Se prepara esta sal, echando poco á poco iodo en una disolucion hirviendo de potasa, hasta que cese de disolverse en ella : si se abandona al enfriamento, el iodato de potasa se precipita, y el ioduro de potasio formado permanece disuelto. La reaccion es se-

mejante á la que da orígen al clorato de potasa en iguales circunstancias. El iodato de potasa precipitado se disuelve en agua caliente, y se vierte en el líquido, caliente aun, una disolucion concentrada é hirviendo de cloruro de bario : se forma un precipitado de iodato de barita, que se lava y se descompone despues en caliente por el ácido sulfúrico, el cual da sulfato de barita insoluble. Evaporando el líquido se depositan cristales de ácido iódico.

Pero el mejor medio de preparar el ácido iódico en cantidad algo considerable, consiste en tomar partes iguales de iodo y clorato de potasa, introducirlas en un matraz con 5 partes en peso de agua, á la cual se hayan incorporado algunas gotas de ácido nítrico, y calentar despues toda esta mezcla : se desprende cloro en abundancia, y el iodo se disuelve en estado de ácido iódico. La teoría de esta operacion es muy sencilla : por la influencia del calor, la pequeña cantidad de ácido nítrico, que se ha añadido, descompone otra cantidad correspondiente de clorato de potasa; y se forma un poco de nitrato de potasa y de ácido clórico, que cede todo su oxígeno á una porcion correspondiente de iodo, desprendiéndose el cloro que queda libre. El ácido iódico formado actúa á su vez sobre el clorato, del cual descompone una nueva porcion; y el ácido clórico puesto en libertad se descompone tambien, así como el que dejo aislado el ácido nítrico. El ácido iódico se combina, segun se va formando, con la potasa del clorato de potasa, de suerte que en último resultado se obtiene todo el clorato de potasa trasformado en iodato. La corta porcion de ácido nítrico que se echó primitivamente ha servido solo para dar principio á la reaccion.

Separadamente se disuelve una parte de cloruro de bario en agua caliente, y se vierte esta disolucion en la del iodato de potasa : se forma un depósito abundante de iodato de barita, que se lava por decantacion repetidas veces, y en seguida se separa de él el ácido iódico por medio del ácido sulfúrico.

El ácido iódico cristalizado contiene 1 equivalente de agua. Cuando se calientan estos cristales, pierden desde luego un poco de agua, pero no tardan en descomponerse en iodo y en oxígeno.

La composicion del ácido iódico se deduce del análisis del iodato de potasa, que se practica del mismo modo que el del clorato de potasa. El ácido iódico contiene

1 eq.	iodo..........	1578,2	75,94
5 »	oxígeno.......	500,0	24,06
		2078,2	100,00.

El ácido cristalizado tiene por formula IoO^5+HO.

Acido periódico, IoO^7.

§ 203. Se háce pasar una corriente de cloro por una disolucion de iodato de sosa, que se mantiene constantemente en ebullicion, despues de haberle añadido carbonato de sosa. Enfriado el líquido, se deposita periodato de sosa en forma de copos radiados figurando flecos sedosos. Se disuelve este periodato en el ácido nítrico, se vierte despues en la disolucion nitrato de plata, y se precipita periodato de plata, que es muy poco soluble. Este se disuelve en el ácido nítrico hirviendo, y por el enfriamento se precipita otra vez periodato de plata, el cual, tratado por el agua, se descompone en periodato de plata básico que queda, y en ácido periódico que se disuelve. Evaporando la disolucion se obtienen cristales de ácido periódico.

Los cristales se fueden hácia los 130°. A una temperatura mas elevada pierden primero su agua de cristalizacion, y despues se descomponen convirtiéndose en ácido iódico, con desprendimiento de gas oxígeno: el ácido iódico se descompone á su vez en iodo y en oxígeno.

La composicion del ácido periódico corresponde á la del ácido perclórico, y se representa por

1 eq.	iodo..........	1578,2	69,27
7 »	oxígeno.......	700,0	30,73
1 »	ácido periódico.	2278,2	100,00.

COMBINACIONES DEL IODO CON EL HIDRÓGENO.

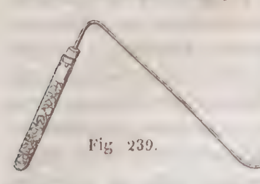
Acido iodhídrico, HIo.

§ 204. La afinidad del iodo con el hidrógeno es mucho mas débil que la del bromo respecto del mismo gas; y así es que aquellos dos cuerpos no se combinan directamente entre sí, aun cuando se haga pasar una mezcla de gas hidrógeno y vapor de iodo por un tubo de porcelana enrojecido. Si se calienta ioduro de sodio con ácido sulfúrico concentrado, no se obtiene ácido iodhídrico, y se forma solamente una mezcla de gas ácido sulfuroso y vapor de iodo. Hay descomposicion mútua entre el ácido sulfúrico y el iodhídrico.

Acido iodhídrico... { Iodo. / Hidrógeno.. } Agua.
Acido sulfúrico.... { Oxígeno.... } Agua. / Acido sulfuroso.

$$HIo + SO^3 = SO^2 + HO + Io.$$

Se prepara el gas ácido iodhídrico, descomponiendo el ioduro de fósforo por una pequeña cantidad de agua. Se introducen para esto en un tubo cerrado por un extremo (fig. 239) capas alternadas de fósforo, iodo y vidrio machacado, humedecido, y se calienta el todo suavemente. El ioduro de fósforo se descompone por el contacto del agua á proporcion que se va formando, y se produce ácido fosforoso que queda en el tubo, y ácido iodhídrico gaseoso que se desprende. Este gas no puede recogerse sobre el mercurio, que le descompondria apoderándose del iodo, y dejando al hidrógeno en libertad; y es menester recibirlo en un frasco bien seco de boca estrecha, como se ha hecho para el cloro (página 251). El gas ácido iodhídrico tiene por densidad 4,443. Es incoloro; esparce humos espesos en el aire; su solubilidad en el agua es muy grande, y produce una disolucion muy ácida, que da humos cuando está concentrada.


Fig 239.

Este compuesto es poco estable: el cloro y bromo le descomponen fácilmente, apoderándose de su hidrógeno y poniendo al iodo en libertad. Es descompuesto aun por el oxígeno del aire á la temperatura ordinaria, cuando se halla disuelto en el agua; pues, abandonando al aire esta disolucion, se tiñe prontamente: el oxígeno del aire descompone una parte del ácido iodhídrico para formar agua, y el iodo que queda libre se disuelve en el ácido no descompuesto. La disolucion de este ácido puede disolver una gran cantidad de iodo. Conforme va adelantando la descomposicion del ácido iodhídrico, el líquido toma un color pardo mas y mas intenso; la porcion de ácido iodhídrico, que queda sin descomponerse, llega pronto á ser insuficiente para tener en disolucion la totalidad del iodo, y este se va depositando en cristales muy regulares, que á veces adquieren un volúmen considerable.

El ácido iodhídrico no puede analizarse por el mismo procedimiento que los ácidos clorhídrico y bromhídrico, esto es, descomponiendo el gas por el potasio y sobre el mercurio, en una campana encorvada, pues el mercurio por su parte le descompondria como ya sabemos. Pero es fácil demostrar que el ácido iodhídrico está formado de 1 volúmen de gas hidrogeno y 1 volúmen de vapor de iodo sin condensacion. En efecto, sumando la densidad del

gas hidrógeno...............................	0,0692
con la del vapor de iodo......................	8,7160
resulta........................	8,7852

que es cerca del duplo de 4,443, número hallado por la experiencia para la densidad del gas iodhídrico.

Su composicion en peso será

	Hidrógeno............	0,78
	Iodo.................	99,22
		100,00
ó bien,	Hidrógeno............	12,50
	Iodo.................	1566,70
	Acido iodhídrico.......	1579,20.

Tomaremos por equivalente del iodo el número 1566,70. El de gas ácido iodhídrico será entónces 1579,20. El equivalente del ácido gaseoso en volúmen será de 4 volúmenes, como el de los ácidos clorhídrico y bromhídrico.

COMBINACIONES DEL IODO CON EL AZOE.

Ioduro de azoe, $AzIo^3$.

§ 205. El ioduro de azoe es un compuesto fulminante como el cloruro, pero es sólido á la temperatura ordinaria. Se le obtiene, poniendo en un vidrio de reloj un poco de iodo pulverizado finamente, y vertiendo por encima amoniaco concentrado. Al cuarto de hora queda terminada la reaccion. Se recoge la materia sobre pequeños filtros: se deposita un polvo gris negrusco, que se lava rápidamente con un poco de agua; y se tiene el ioduro de azoe. Esta materia no detona por lo regular, cuando se encuentra húmeda, pero suele sin embargo producir una detonacion, aun en los mismos vidrios de reloj, cuando se la remueve con una varilla de vidrio. El ioduro de azoe seco detona por el mas ligero choque ó rozamiento, por ejemplo, el que ocasionan las barbas de pluma; y con frecuencia detona aun espontáneamente. La fórmula de este compuesto, análoga á la del cloruro de azoe, es $AzIo^3$.

COMBINACIONES DEL IODO CON EL AZUFRE.

Sulfuros de iodo.

§ 206. No se conocen hasta el dia combinaciones en proporciones definidas del iodo con el azufre. Cuando se calientan juntamente estos dos cuerpos, se combinan; pero si la temperatura aumenta, la combinacion se destruye y el iodo se volatiliza.

COMBINACIONES DEL IODO CON EL CLORO.

Cloruros de iodo.

§ 207. Haciendo pasar una corriente de cloro por un tubo de vidrio que contenga iodo, los dos cuerpos se combinan, y se forma primeramente un líquido pardo; pero continuando la accion del cloro, este líquido se convierte en una materia cristalina de un blanco amarillento. Estas combinaciones no se han estudiado bien todavía.

FLUOR.

Equivalente = 239,8.

§ 208. No se conocen hasta ahora las propiedades del fluor aislado, lo cual consiste menos en la dificultad de separar este cuerpo de sus combinaciones, que en su extremada afinidad con las sustancias de que se forman nuestros vasos de química. El fluor ataca inmediatamente al vidrio y á todos los metales, incluso el platino. Hasta el presente no se ha conseguido aislarle sino en vasos tallados de espato fluor, y se le obtiene descomponiendo el fluoruro de plata por el cloro: el fluor se desprende en estado de gas incoloro.

No se conocen aun combinaciones del fluor con el oxígeno, pero se prepara fácilmente su combinacion con el hidrógeno, ó sea el ácido fluorhídrico, ácido importante por sus aplicaciones.

COMBINACION DEL FLUOR CON EL HIDRÓGENO.

Acido fluorhídrico; HFl.

§ 209. Se prepara este ácido mediante la reaccion del ácido sulfúrico concentrado sobre el fluoruro de calcio, ó *espato fluor,* mineral bastante comun en la naturaleza. El ácido fluorhídrico ataca al vidrio, á la porcelana y á la mayor parte de los metales, y para prepararlo hay que apelar al uso de vasos de platino ó de plomo. El aparato que se emplea ordinariamente en los laboratorios, se compone de una retorta de plomo (fig. 240), formada de dos piezas que encajan una en otra: la inferior, en forma de cápsula, sirve para contener la mezcla; la superior constituye el lomo y cuello de la retorta, y dirige los vapores ácidos á un recipiente. Este es de plomo tambien, y se le da la forma de un tubo encorvado, que se ajusta exactamente por un extremo al cuello de la retorta, y en el opuesto tiene solo un pequeño agujero para dar salida al aire dilatado ó al exceso de vapor: se rodea de hielo este recipiente durante la operacion.

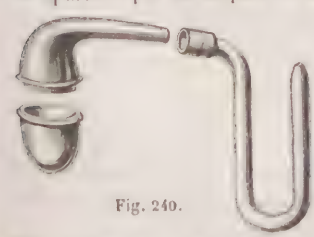


Fig. 240.

Se pone en la cápsula el espato fluor, pulverizado finamente, se le añade una cantidad doble en peso de ácido sulfúrico concentrado, que se vierte por encima, y se remueve la mezcla con una espátula de plomo ó de platino. En seguida se arma el aparato, y se enlodan bien todas las junturas con un lodo terroso, que se cubre con tiras de

papel. Se calienta la retorta suavemente con un poco de carbon, teniendo cuidado que la temperatura no llegue al punto de fusion del plomo, y para mas seguridad convendrá calentar la retorta en un baño de arena, ó mejor aun en un baño de aceite. Terminada la operacion, se vierte el ácido fluorhídrico, condensado en el recipiente, en un vaso de plata ó de plomo, cerrándole bien con un tapon del mismo metal, que ajuste exactamente.

El ácido fluorhídrico obtenido de este modo es el ácido anhidro, y para tenerlo dilatado en agua, bastará poner una cierta cantidad de este líquido en el recipiente, á fin de favorecer la condensacion de los vapores ácidos.

La teoría de esta operacion es muy sencilla, y análoga en un todo á la de la preparacion del gas ácido clorhídrico (§ 189):

$$CaFl + SO^3.HO = CaO.SO^3 + HFl.$$

El ácido fluorhídrico es una de las sustancias mas peligrosas que se conocen, y es menester manejarlo con muchas precauciones: una gota de ácido anhidro que caiga sobre la piel produce una inflamacion muy viva, acompañada frecuentemente de fiebre. Si la quemadura que resulta ocupase una gran superficie, podria causar accidentes muy graves, y hasta ocasionar la muerte. Cuando el ácido está mezclado con agua, es menos corrosivo, pero aun en este caso debe manejarse con mucho cuidado.

El ácido fluorhídrico anhidro es un líquido incoloro, de una densidad igual á 1,06; no se solidifica á ninguna temperatura, y hierve hácia los 30°. Produce en el aire espesos vapores blancos, debidos á su combinacion con el vapor de agua que contiene aquel flúido. El ácido fluorhídrico tiene una grande afinidad con el agua, mezclándose con ella en todas proporciones. Cuando se vierte ácido anhidro en el agua, cada gota produce un ruido semejante al de un hierro hecho ascua que se introduzca en este líquido. Si el ácido está mezclado con una cantidad suficiente de agua, pierde la propiedad de dar humos en el aire.

El ácido fluorhídrico ataca al vidrio, y veremos mas adelante la reaccion química que se produce en este caso. Por esta causa se le emplea para grabar sobre el vidrio, y principalmente para trazar las divisiones en los tubos de los termómetros y en las campanas, segun lo hemos indicado ya, página 113. Se graba igualmente con el ácido fluorhídrico gaseoso, y de este modo resultan las divisiones mas finas y perceptibles, porque son opacas; lo cual no sucede con las obtenidas por medio del ácido líquido, que son trasparentes, y han de ser bastante profundas para que puedan verse distintamente.

Cuando se quiera grabar con el ácido gaseoso, no hay mas que introducir en una caja de plomo una mezcla de espato fluor, en polvo muy fino, y de ácido sulfúrico concentrado, y exponer á la accion de los vapores ácidos que se desprenden la pieza preparada que se desee grabar.

El ácido fluorhídrico tiene mucha analogía con los ácidos clorhídrico, iodhídrico y bromhídrico, y es probable tambien que presente una composicion semejante á la de estos ácidos; es decir, que esté formado de $\frac{1}{2}$ volúmen de fluor y $\frac{1}{2}$ de hidrógeno sin condensacion; pero esta composicion no ha sido demostrada por experimentos directos, por no haber logrado hasta el dia aislar el fluor de tal modo, que pudieran determinarse sus proporciones, ni haberse fijado aun la densidad del ácido fluorhídrico gaseoso.

§ 210. La composicion en peso del ácido fluorhídrico y el equivalente del fluor pueden determinarse de la manera siguiente:

Se pesa en un crisol de platino una cierta cantidad de espato fluor reducido á polvo impalpable, y se le trata por el ácido sulfúrico concentrado, hasta convertirlo enteramente en sulfato. Conviene para esto rociar muchas veces la materia con ácido sulfúrico, y evaporar el exceso de este por medio de una lámpara de alcohol. Se calcina el sulfato de cal hasta el calor rojo.

Se halla de este modo que 10 gramos de espato fluor ó fluoruro de calcio, CaFl, dan 17^{gr}, 345 de sulfato de cal, $CaO.SO^3$.

Ahora bien, la composicion del sulfato de cal, en cal y ácido sulfúrico, puede determinarse fácilmente como sigue:

Se toman 10 gramos de cal viva, CaO, muy pura; se la humedece con ácido sulfúrico, en un crisol de platino; se evapora el exceso de ácido, y se calcina hasta el rojo el sulfato de cal producido.

Se halla que los 10 gramos de cal dan 24^{gr},261 de sulfato de cal, y de aquí se deduce que el sulfato de cal contiene

Cal...............	41,22
Acido sulfúrico....	58,78
	100,00.

Y como 58,78 de ácido sulfúrico encierran 35,268 de oxígeno, y en los sulfatos neutros, segun hemos visto (página 209), la cantidad de oxígeno de la base es $\frac{1}{3}$ de la que existe en el ácido sulfúrico. las 41,22 partes de cal se compondrán de

Oxígeno.........	11,756
Calcio...........	29,464
	41,220.

Por consiguiente, 100 de cal contendrán

Oxígeno...	28,52	ó	1 eq. oxígeno...	100,0
Calcio.....	71,48		1 » calcio.....	250,6
	100,00		1 » cal.......	350,6.

Podremos ya determinar, por una simple proporcion, la cantidad de calcio que se encuentra en nuestros 17gr,345 de sulfato de cal: dicha cantidad es de 5gr,110, y será tambien la que existe en los 10 gramos de fluoruro de calcio, que consideramos como formado únicamente de fluor y de calcio. Luego los 10 gramos de fluoruro de calcio contendrán 4gr,890 de fluor, y su composicion será

Fluor............	48,90
Calcio............	51,10
	100,00.

Admitiendo que el fluoruro de calcio tenga por fórmula CaFl, es decir, que esté formado de 1 equivalente de fluor y 1 de calcio, tendremos el equivalente del fluor, estableciendo la proporcion

$$51,10 : 48,90 :: 250,6 : x, \text{ de donde } x = 239,8.$$

Por otra parte, la reaccion que da orígen al ácido fluorhídrico, representada por la ecuacion

$$CaFl + SO^3 + HO = CaO.SO^3 + HFl,$$

hace ver que el ácido fluorhídrico está compuesto de 1 equivalente de fluor y 1 equivalente de hidrógeno.

El ácido fluorhídrico contendrá segun esto

1 eq. fluor............	239,80	95,05
1 » hidrógeno.	12,50	4,95
1 » ácido fluorhídrico.	252,30	100,00.

Este ejemplo nos enseña el método para determinar frecuentemente la composicion de los cuerpos, cuando no puede hacerse su análisis directo. Pero es importante observar que todo nuestro razonamiento estriba en la hipótesis de que el fluoruro de calcio contenga solamente calcio y un cuerpo simple, el fluor, del cual todavia no puede asegurarse con acierto que haya sido positivamente aislado; y que por consiguiente las fórmulas anteriores dejarian de ser exactas, si nuestra hipótesis no fuera bien fundada.

FÓSFORO.

Equivalente = 400,0.

§ 211. El fósforo* puede obtenerse en los tres estados, sólido, líquido y gaseoso. A la temperatura ordinaria del verano es blando y flexible como la cera; duro y quebradizo á la del hielo que se derrite. No puede cristalizar por via de fusion, porque pasa gradualmente del estado líquido al sólido, circunstancia que se opone siempre á la cristalizacion; pero es susceptible de cristalizar por via de disolucion. Cuando se funde, debajo del agua, una mezcla de 2 partes de fósforo y 1 de azufre, resulta una combinacion que contiene un exceso de fósforo en disolucion. Una parte de este se precipita por el enfriamiento, y frecuentemente bajo la forma de cristales regulares, que son dodecaedros romboidales (véase fig. 22, página 16). Puede emplearse tambien el sulfuro de carbono como disolvente del fósforo: la disolucion, evaporada lentamente y á la temperatura ordinaria, en medio de una corriente de ácido carbónico, da hermosos cristales de fósforo.

La densidad del fósforo viene á ser de 1,77. Es casi incoloro y traslúcido, cuando está puro. En los laboratorios suele presentar una tinta amarillenta, pero su color cambia y se vuelve rojo, aun en el vacío, cuando se le expone á la luz solar; lo cual prueba que el cambio es debido á modificaciones moleculares, y no á una combinacion química.

El fósforo se funde hácia los 44°,2, hierve á 290°; su vapor es incoloro, y tiene por densidad 4,326.

El fósforo posee una afinidad grande con el oxígeno; y basta calentarlo en el aire hasta una temperatura de 60° poco mas ó menos, para que se inflame: esta inflamacion se determina muchas veces por una simple friccion. El fósforo expuesto al aire experimenta una combustion lenta, aun á la temperatura ordinaria, pues se le ve siempre, en este caso, rodeado de un humo ligero que se renueva sin cesar, y es luminoso en la oscuridad. Esta propiedad ha sido la causa de dar á este cuerpo el nombre de *fósforo* (de φῶς,

* El fósforo fué descubierto en 1669 por Brandt, alquimista de Hamburgo, quien lo extrajo de los orines, evaporándolos y calcinando despues el residuo. Brandt tuvo oculto este procedimiento, que descubrió Kunckel algunos años despues; pero solo hácia el año de 1769, fué cuando Gahn y Scheele descubrieron que el fósforo estaba contenido en gran cantidad en los huesos de los animales, y dieron á conocer el método de su extraccion.

luz, φορός, que lleva). Si un pedazo de fósforo permanece mucho tiempo expuesto al aire, disminuye notablemente, y acabaria por consumirse del todo, si la exposicion al aire se prolongara lo necesario. Se echa de ver fácilmente que este fenómeno es producido por una verdadera combustion. En efecto, si el experimento se hace en una campana que contenga un volúmen limitado de aire, se observa que el volúmen del gas disminuye, por ser absorbido el oxígeno que contiene: al cabo de algun tiempo, la luz desaparece, y cesa la diminucion de volúmen; pero en cuanto se introduce una nueva cantidad de aire puro, el fenómeno se reproduce del mismo modo. El aire que permanece así algun tiempo en contacto con el fósforo, pierde todo su oxígeno, y no es propio ya para alimentar la combustion de los cuerpos. Si el aire de la campana se reemplaza por el oxígeno puro, se observará que el fósforo no es luminoso sino á una temperatura superior á 20°, al paso que en el aire atmosférico la produccion de luz se verifica á temperaturas mucho mas inferiores. Debe concluirse de esto, que la combustion del fósforo se efectúa mas fácilmente en el aire atmosférico que en el gas oxígeno puro; y sin embargo sabemos que su combustion rápida es mucho mas intensa en el oxígeno. Se ha observado que el fósforo no se combina directamente con el oxígeno, á una baja temperatura, á menos que el gas se halle muy enrarecido, por ejemplo, cuando su densidad es igual á la que posee el aire atmosférico; en el cual $\frac{1}{5}$ de gas oxígeno está mezclado con $\frac{4}{5}$ de gas azoe. Si se pone un fragmento de fósforo dentro de un globo de vidrio, lleno de gas oxígeno y en comunicacion con la máquina neumática, se advierte, si la temperatura es baja, que el fósforo no es luminoso cuando la fuerza elástica del gas es igual á la de la atmósfera; pero enrareciendo el oxígeno por medio de la máquina, el fenómeno de luz se manifiesta al instante.

Si se hacen varias rayas sobre una pared, y en la oscuridad, con un pedazo de fósforo, estas rayas permanecen luminosas durante algun tiempo. La luz desaparece cuando el fósforo que quedaba adherido á la pared se ha disipado, sea por evaporacion ó por combustion.

El fósforo, ardiendo con llama en el oxígeno ó en el aire, produce una materia pulverulenta, blanca y muy delicuescente, que es el *ácido fosfórico*. Cuando el fosforo experimenta solamente la combustion lenta, en contacto del aire y á la temperatura ordinaria, no se forma ya ácido fosfórico, sino una oxidacion de un grado inferior, el *ácido fosforoso*. Así vemos que el mismo cuerpo da por su combinacion directa con el oxígeno, dos compuestos dife-

rentes, segun la temperatura á que se verifica esta combinacion.

Es peligroso manejar el fósforo, atendida su fácil inflamacion. Las quemaduras que produce son muy dolorosas, y pueden ocasionar accidentes graves : así nunca estarán de mas cuantas precauciones se tomen para manejarlo. En los laboratorios se le conserva en frascos llenos de agua, y cuando es menester servirse de él, se saca del agua un cilindro de fósforo, y se corta con unas tijeras el fragmento conveniente, miéntras se conserva mojado; despues se le enjuga con papel de filtros, tocándole lo menos posible con los dedos.

El fósforo es mucho mas combustible cuando es impuro, que en el estado de pureza perfecta. En los laboratorios se aprovechan á menudo los residuos de las diversas operaciones que se hacen con el fósforo, y en los cuales este cuerpo se encuentra mezclado con una pequeña cantidad de óxido rojo de fósforo. Estos residuos arden con mucha mas facilidad que el fósforo puro, y son menester para manejarlos muchas mas precauciones, pues suelen inflamarse espontáneamente, cuando están secos y la temperatura exterior es elevada.

El fósforo, expuesto á la luz, se altera aun debajo del agua cuando se le conserva en frascos tapados, y se vuelve opaco en la superficie. En esta circunstancia parece que solo experimenta un cambio en su disposicion molecular, y esta alteracion se verifica con mas lentitud si está resguardado de la luz. Por esta causa se tiene cuidado, en los laboratorios, de meter los frascos que contienen fósforo, en botes de hoja de lata ó de carton.

El fósforo experimenta por un enfriamiento rápido una modificacion análoga á la del azufre en las mismas circunstancias, si bien es menos fácil que se produzca. Vertiendo en agua muy fria fósforo fundido y calentado hasta una temperatura próxima á su punto de ebullicion, se obtiene una masa de un pardo oscuro, cuya consistencia es muy diferente de la del fósforo ordinario. Este experimento no sale bien sino empleando fósforo muy puro, que haya pasado por muchas destilaciones. La presencia de la mas mínima cantidad de materias extrañas basta para alterar notablemente las propiedades físicas del fósforo; por ejemplo, una milésima parte de azufre le hace quebradizo, aun cuando la temperatura sea superior á 20°.

El fósforo, que hierve á una temperatura poco elevada, puede destilarse en aparatos de vidrio; pero son indispensables algunas precauciones particulares en esta operacion, por causa de la inflamabilidad del fosforo. Cuando se quiere solo destilar una pe-

queña cantidad de este cuerpo, se le coloca en una retorta A de vidrio (fig. 241), cuyo cuello se ajusta á un tubo en U *abc* algo

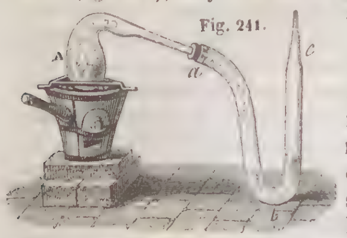


Fig. 241.

ancho, y en el cual se ha introducido un poco de agua, á fin de interceptar la comunicacion del aire exterior y preservar el fósforo que destila. Se calienta la retorta : el aire dilatado deprime el agua, y la hace subir por la segunda rama del tubo en U, hasta que pasa el mismo por medio de la columna líquida en forma de burbujas. El fósforo destila prontamente, se condensa y viene á parar al fondo del tubo en U, donde permanece líquido, si la temperatura del agua es superior á 40°. Pudiera suceder, si llegara á detenerse la destilacion, ó solamente á marchar con alguna mas lentitud, que hubiese absorcion; pero esta no tendrá consecuencias graves, si el aparato se halla convenientemente dispuesto. En efecto, condensándose el fósforo en la retorta, se produce en ella un vacío, y el agua, comprimida por la presion de la atmósfera, se eleva por la parte *a* del tubo; y, si esta no tuviera la capacidad necesaria, podria subir hasta la retorta, que seria rota indefectiblemente con explosion, corriendo riesgo el preparador de ser quemado por el fósforo. Al contrario, si la rama *a* es suficientemente grande para contener toda el agua, el aire penetrará en la retorta en forma de burbujas, y no habrá que temer explosion ninguna. Así el tubo *ab* sirve á la vez de recipiente y de tubo de seguridad.

Hemos dicho que el fósforo tomaba un color rojo bajo la influencia de la luz solar; y en tal estado constituye una modificacion isomérica muy notable, que tiene propiedades enteramente distintas de las que presenta el fósforo ordinario. Se obtiene este fósforo rojo en gran cantidad, exponiendo el fósforo durante muchas horas á una temperatura comprendida entre 230 y 250°, en contacto de un gas sobre el cual no ejerza accion química. La operacion se ejecuta en una retorta llena de antemano de gas ácido carbonico ó de hidrógeno. Una porcion notable de fósforo destila, y se condensa en estado de fósforo ordinario, y otra porcion se convierte en fósforo rojo, cuya cantidad aumenta con la duracion del experimento. Se deja enfriar la retorta, y se trata la materia repetidas veces por el sulfuro de carbono, que disuelve el fósforo ordinario y deja al fósforo modificado, bajo la forma de un polvo amorfo de un color rojo mas ó menos intenso.

El fósforo rojo difiere del fósforo ordinario en sus propiedades químicas, no menos que en las físicas. El primero puede ser calentado hasta 250°, sin pasar al estado líquido, miéntras el fósforo ordinario se funde á los 44°. A una temperatura de 260° vuelve aquel á tomar el estado de fósforo ordinario.

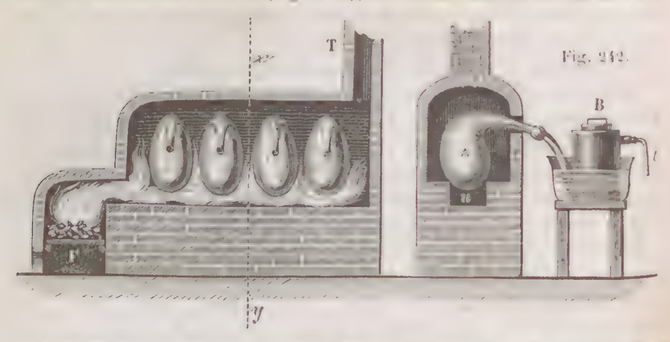
El fósforo rojo no tiene olor sensible á la temperatura ordinaria. Se conserva inalterable al aire, y sin despedir luz, siempre que su temperatura no exceda de 200°. No se combina con el azufre, aun á la temperatura de la fusion de este cuerpo, al paso que el fósforo ordinario, calentado ligeramente en contacto del azufre, se combina con él produciendo una explosion.

Estas dos modificaciones del fósforo nos ofrecen uno de los ejemplos mas notables de la isomeria de los cuerpos : las diferencias entre sus propiedades físicas, y los caractéres que señalan sus reactivos, son mas marcadas todavía que las que ofrecen muchos cuerpos simples diferentes entre sí. La identidad química de las partículas que componen estas dos modificaciones no ha sido demostrada, sino por la identidad absoluta de los cuerpos que producen.

§ 212. El fósforo es un cuerpo muy importante en la economía animal, por entrar en la constitucion de los huesos. Cuando se queman estos en contacto del aire, la materia orgánica se destruye completamente, y se disipa en estado de productos gaseosos. Las cenizas que quedan no son otra cosa que una mezcla de fosfato de cal básico y carbonato de cal; y estas cenizas son las que sirven para extraer el fósforo en las artes. A 3 partes en peso de cenizas se añaden 2 de ácido sulfúrico y 15 á 20 de agua : se remueve el todo con una espátula, y se abandona á sí mismo durante veinte y cuatro horas. El carbonato de cal es descompuesto por el ácido sulfúrico, que se apodera de la cal para formar sulfato, y el ácido carbónico libre se desprende. El ácido sulfúrico obra tambien sobre el fosfato básico de cal, pero no lo descompone enteramente, y solo le quita una parte de la cal, formando una nueva cantidad de sulfato de cal, y dejando el fosfato en estado de fosfato ácido. Este último es muy soluble en el agua, al paso que el sulfato de cal lo es muy poco.

Se separan estas dos sales echando toda la papilla líquida en un saco de lienzo bien tupido, que retiene el sulfato de cal y deja pasar la disolucion de fosfato ácido; se exprime bien la masa para sacar de ella todo el líquido posible. Se evapora la disolucion de fosfato ácido de cal en una caldera de cobre, hasta la consistencia de jarabe; despues se va añadiendo en pequeñas porciones carbon pulverizado, y se calienta hasta el calor rojo sombrío la masa que

resulta, á fin de secarla completamente. Se introduce la materia seca en una retorta de barro A (fig. 242), cubierta exteriormente con un



odo arcilloso, y cuyo cuello enchufa en el de un recipiente de cobre B, con su tubo para dar salida al gas, y lleno de agua hasta la mitad. Ordinariamente se colocan muchas de estas retortas, unas al lado de otras, en un horno de reverbero que tiene uno ó varios hogares F. La llama penetra en el horno por un conducto horizontal *u*; se distribuye al rededor de las retortas y va á salir por la chimenea T. Los recipientes B se colocan en un mismo baño de agua caliente, á una temperatura de 40° poco mas ó menos, á fin de que el fósforo al solidificarse no obstruya la comunicacion. Debe cuidarse que la accion del fuego sea gradual y uniforme desde el principio de la operacion. Se desprenden gases inflamables, que son hidrógeno y óxido de carbono. El fosfato ácido de cal, aunque desecado, conserva sin embargo agua combinada químicamente, la cual no se marcha sino á una temperatura elevada, y encontrando al carbon hecho ascua, en el momento en que queda libre, se descompone produciendo hidrógeno y óxido de carbono:

$$HO+C=CO+H.$$

El fosfato ácido de cal se descompone en fosfato de cal básico que no es alterado, y en ácido fosfórico que, en contacto del carbon encandecido, da fósforo y óxido de carbono

Acido fósforico........... { Fósforo.
{ Oxigeno.... } Oxido de carbono.
Carbono.............................. }

$$PhO^5+5C=Ph+5CO.$$

El fosforo destila, se condensa y pasa en estado liquido al reci-

piente. En la retorta queda fosfato de cal básico, mezclado con el carbon que se ha puesto en exceso. Se filtra el fósforo por una piel de gamuza, que se exprime dentro del agua, y de este modo se le despoja de todas sus impurezas.

En fin, para dar á la masa que resulta la forma cilíndrica, bajo la cual se encuentra comunmente en el comercio, se introduce en el fósforo fundido debajo del agua la extremidad de uno tubo de vidrio, ligeramente cónico, y se aspira con precaucion por la extremidad opuesta. El fósforo asciende por el tubo, precedido siempre de una columna de agua, que puede precaver de todo riesgo. Cuando el tubo queda lleno de líquido, se tapa rápidamente con el dedo su extremo superior, para impedir que la columna levantada vuelva á caer; y en seguida se le sumerge en agua fria, que solidifica el fósforo. Para sacar el cilindro de fósforo, vaciado en el tubo de vidrio, se le empuja con una varilla que se introduce por la parte mas estrecha de este tubo.

§ 213. La facil combustibilidad del fósforo ha dado lugar á su empleo en la confeccion de los eslabones fosfóricos, de las cerillas y pajuelas de madera que se inflaman por la simple frotacion. De algunos años á esta parte dicha aplicacion ha extendido considerablemente el procedimiento de la extraccion del fósforo.

Los eslabones fosfóricos consisten en unos pomitos de plomo, que llevan colocado en su fondo un poco de fósforo. Debe cuidarse de conservarlos perfectamente cerrados. Para servirse de ellos, se introduce una astillita de madera, azufrada en sus extremos, y sacando una partecilla de fósforo, se frota sobre un pedazo de corcho ó de madera, y se inflama. Estos frasquitos son de un uso peligroso, y ademas se inutilizan prontamente, cuando no se tienen bien tapados. El fósforo, absorbiendo el oxígeno del aire, se trasforma en ácidos fosforoso y fosfórico, que atraen la humedad, perdiendo por esto la propiedad de inflamarse.

Las pajuelas fosforicas no son otra cosa que pedacitos delgados de madera, y frecuentemente de cerilla y aun de carton, mojados por su extremidad en una pasta combustible, que se inflama frotándola solamente contra un cuerpo duro. El principio combustible de todas estas pastas es siempre el fosforo, pero se le incorporan materias propias para suministrar oxígeno, y activar la combustion. Estas materias son nitrato y clorato de potasa, o bien ciertos oxidos metálicos, tales como el bióxido de manganeso y el sesquióxido de plomo o *minio*, que ceden fácilmente una porcion de su oxigeno. El clorato de potasa comunica á la pasta la propiedad de detonar, y cuando se frota la pajuela se produce una pequeña explosion, que

proyecta algunas veces materia inflamada. Las pastas preparadas con nitrato de potasa arden tranquilamente, pero es necesario mezclar una corta cantidad de clorato para hacerlas fácilmente inflamables.

Para confeccionar la pasta se funde fósforo en una dósis conveniente de agua á 50°, y se incorpora una cantidad determinada de clorato y nitrato de potasa, que se disuelven en el agua; despues se añaden los óxidos metálicos, si es que se emplean, y por último un mucílago de goma. Se bate el todo, y se remueve bien hasta que se obtenga una pasta homogénea, en la cual no se perciba ningun glóbulo de fósforo. Comunmente se da color á la pasta sea con azul de Prusia, ó con minio que produce un color rojo.

Las pajuelas azufradas se mojan en esta pasta, por una ó las dos extremidades, y despues se dejan secar. Frotándolas sobre un cuerpo duro y áspero, la materia se inflama, comunica el fuego al azufre, y este á la madera ó sustancia de que se forma la pajuela. Algunas veces suele mezclarse con la pasta una cierta cantidad de vidrio molido, á fin de que la frotacion sea mas eficaz.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON OXÍGENO.

§ 214. El fósforo forma cuatro combinaciones con el oxígeno: tres de ellas son ácidas, á saber:

1° Acido fosfórico........ PhO^5
2° Acido fosforoso........ PhO^3
3° Acido hipofosforoso.... PhO.

La cuarta es un compuesto indiferente, que contiene menos oxígeno que las precedentes, y se le da el nombre de *óxido de fósforo.*

Acido fosfórico, PhO^5.

§ 215. El fósforo, ardiendo en el oxígeno ó en el aire, produce un humo blanco, espeso, que se deposita en forma de un polvo blanco, el cual absorbe prontamente la humedad del aire. Esta sustancia es el ácido fosfórico. Para obtenerlo en cantidad considerable, se toma una campana grande de vidrio, que se seca bien, y luego se la coloca sobre una fuente igualmente seca (fig. 243); se meten debajo de la campana algunos fragmentos de cal viva, puestos en una cápsula, y se dejan algunas horas á fin de desecar el aire interior. Se saca despues la cápsula que contiene la cal, y se

la reemplaza con otra mas pequeña, en que se haya inflamado un pedazo de fósforo. La combustion continúa debajo de la campana, miéntras esta contenga una cantidad suficiente de oxígeno; el ácido fosfórico se condensa y precipita en forma de un polvo blanco sobre las paredes de la campana, y sobre la fuente en que se halla colocada. Despues de la combustion completa del fósforo, queda en la pequeña cápsula una materia rojiza, que es óxido rojo de fósforo. Se recoge prontamente el ácido fosfórico pulverulento con una espátula de platino, y se introduce en un frasco bien seco, que se cierra con tapon esmerilado.



Fig. 243.

Puede hacerse esta operacion de una manera continua, valiéndose del aparato representado en la figura 244.

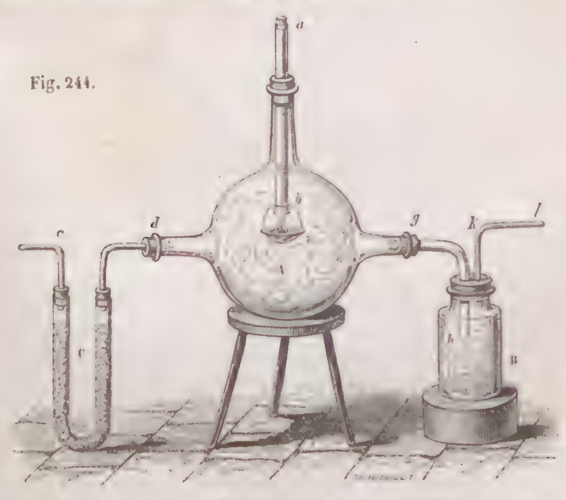


Fig. 244.

El espacio en que se verifica la combustion del fósforo es un globo de vidrio A, con tres cuellos *a*, *d*, *g*, y perfectamente seco. El tapon que cierra la abertura superior está atravesado por un tubo ancho *ab* de 12 ó 14 milímetros de diámetro, y á cuya extremidad inferior se fija, por medio de unos hilos de platino, una pequeña cápsula de

porcelana v, que viene á quedar situada hácia el centro del globo. Una de las aberturas laterales d lleva ajustado un tubo C, lleno de una materia desecante, tal como la piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico; y á la opuesta g se adapta un tubo ancho encorvado gh, que entra en un frasco seco B. Este comunica por un tubo kl con un aparato aspirante, que puede ser un fuelle aspirante, un aspirador ordinario, ó bien un simple cañon de metal, que se coloca en una posicion inclinada ó vertical, y se calienta de modo que produzca mucho tiro. Por este medio se establece una corriente continua de aire, que penetra por el tubo C, desecándose en él, atraviesa todo el aparato, y pasa al aspirador. Se deja caer por el tubo ab un pedazo de fósforo, que recibe la cápsula v, y se le inflama en seguida con una varilla ó alambre de hierro caliente, tapando despues la abertura superior a con un tapon. El fósforo arde y se convierte en ácido fosfórico, que se deposita en parte sobre las paredes del globo A, y el resto en el frasco B. Cuando el primer pedazo de fósforo se ha consumido enteramente, se deja caer otro en la cápsula, y se continúa así; pudiendo de esta suerte convertirse en ácido fosfórico, sin interrupcion alguna, una cantidad muy considerable de fósforo. Los pedazos de este deben enjugarse cuidadosamente con papel sin cola, ántes de introducirlos en el globo.

El ácido fosfórico obtenido segun acabamos de explicar es anhidro, y constituye una materia pulverulenta blanca, que se agrega en forma de copos por la presion. Esta materia es muy ávida de humedad, absorbe prontamente la del aire y entra en delicuescencia. Cuando se la proyecta en el agua, produce un ruido semejante al de la inmersion de un hierro hecho ascua; lo cual prueba que se desprende mucho calor en la combinacion del ácido fosfórico anhidro con el agua.

Evaporando la disolucion acuosa de ácido fosfórico, produce desde luego un líquido viscoso, que deposita cristales hidratados cuando adquiere la concentracion necesaria. Calentando mas y mas esta disolucion en una cápsula de platino, pierde primero la última parte de agua que se le puede quitar por la accion del fuego, y seguidamente entra en fusion al calor rojo, produciendo una materia trasparente, semi-flúida, que se solidifica en forma de una masa vítrea. Esta sustancia da vapores sensibles al calor rojo, pero esta temperatura dista mucho todavía de la de su punto de ebullicion bajo la presion ordinaria de la atmósfera.

El ácido fosfórico vítreo no es el ácido fosfórico anhidro, y contiene aun 11,2 por 100 de agua, esto es, un equivalente de agua que no se le puede quitar por la accion sola del calor; de manera

que el ácido fosfórico, una vez combinado con el agua, no puede ser reducido por el calor solo al estado anhidro.

§ 216. Se obtiene inmediatamente el ácido fosfórico hidratado, disolviendo fósforo en ácido nítrico. Se toma 1 parte de fósforo y 13 de ácido nítrico dilatado en agua, que tenga por lo menos una densidad de 1,20; y se calienta el todo en una retorta de vidrio (fig. 245) cuyo cuello entra en un recipiente, que se cuida de mantener frio. Se desprenden en abundancia vapores rojos, y el fósforo desaparece prontamente. Si el ácido fuera mas concentrado, la accion podria ser tan viva, que los gases y vapores, no encontrando pronta salida por el cuello de la retorta, producirian una explosion, siempre peligrosa por causa de las quemaduras del fósforo, que son temibles. Si el ácido nítrico se hallase muy diluido, la accion seria mucho mas lenta, y una porcion de este ácido destilaria sin obrar sobre el fósforo. Cuando la mayor parte del líquido ha pasado al recipiente, se suspende la operacion, y se vuelve á echar en la retorta la porcion que ha destilado: esto es lo que se llama *cohobar el líquido destilado*. Se principia de nuevo la destilacion, y se continúa de este modo hasta que el líquido de la retorta haya tomado la consistencia de jarabe: es menester detenerse entónces, ponerlo en una cápsula de platino y terminar en ella la concentracion; pues, para expulsar las últimas porciones de agua y ácido nítrico, seria necesario emplear una temperatura elevada, á la cual el vidrio de la retorta seria atacado por el ácido fosfórico, que se obtendria por consiguiente impuro.


Fig. 245.

El ácido fosfórico fundido contiene 11,2 por 100 de agua. La cantidad de oxígeno que esta encierra es á la contenida en el ácido fosfórico real, como 1 : 5; de suerte que este hidrato tendrá por fórmula $PhO^5 + HO$.

Si se deja abandonado el ácido vítreo debajo de una campana, con una cantidad de agua doble de la que contiene ya, se convierte en una masa cristalina, que es un hidrato definido y de la fórmula $PhO^5 + 3HO$. Los mismos cristales se forman á menudo en una disolucion de ácido fosfórico convenientemente concentrada.

Por último, poniendo el ácido vítreo en presencia de una cantidad de agua igual solamente á la que contiene ya, resultan aun cristales, que difieren de los anteriores y tienen por fórmula PhO^5+2HO.

Conocemos, pues, tres hidratos bien definidos del ácido fosfórico, á saber:

1° El ácido fosfórico monohidratado.... PhO^5+HO
2° El ácido fosfórico bihidratado...... PhO^5+2HO
3° El ácido fosfórico trihidratado...... PhO^5+3HO.

Cada uno de estos ácidos da lugar á una serie de sales particulares, que presentan propiedades distintas, y que mas adelante estudiaremos al hablar de los fosfatos:

1° De los fosfatos monobásicos........ PhO^5+RO
2° De los fosfatos bibásicos.......... PhO^5+2RO
3° De los fosfatos tribásicos.......... PhO^5+3RO.

Se prepara algunas veces el ácido fosfórico mediante la calcinacion del fosfato de amoniaco, que se obtiene descomponiendo por el amoniaco el fosfato ácido de cal, procedente de las cenizas de los huesos, cuando se las trata por el ácido sulfúrico, como en la preparacion del fósforo. Este procedimiento es muy económico, pero el ácido que resulta conserva siempre un poco de amoniaco.

El ácido fosfórico es un ácido muy fuerte, menos enérgico sin embargo, á la temperatura ordinaria, que el ácido sulfúrico; pero como es mucho mas fijo que este último, le desaloja casi siempre de todas sus combinaciones cuando se eleva suficientemente la temperatura.

§ 217. La composicion del ácido fosfórico se determina de la manera siguiente:

Se ponen 10 gramos de fósforo en un matraz de vidrio, y se le trasforma en ácido fosfórico por medio del ácido nítrico: se desaloja por ebullicion la mayor parte del agua y del ácido nítrico en exceso. Por otra parte, se pesan en un crisol grande de platino 100 gramos de óxido de plomo puro, y se vierte sobre este óxido el ácido contenido en el matraz, teniendo cuidado de lavar muchas veces este matraz con pequeñas cantidades de agua destilada, y de echar las aguas de locion en el crisol. Se evapora hasta sequedad; la materia desecada se compondrá del óxido de plomo y de los ácidos fosfórico y nítrico que han entrado en combinacion con él. Pero si se calienta el crisol hasta el calor rojo, el nitrato de plomo se descompone, y no queda, con los 100 gramos de óxido de

plomo, mas que el peso q de ácido fosfórico producido por los 10 gramos de fósforo. De aquí se deduce que los 10 gramos de fósforo producen $22^{gr},50$ de ácido fosfórico; lo cual da para este ácido la composicion siguiente:

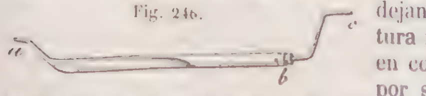
Fósforo..........................	44,44
Oxígeno..........................	55,56
	100,00.

La cantidad de agua contenida en los ácidos fosfóricos hidratados se determina por el procedimiento indicado para el ácido sulfúrico (§141).

Acido fosforoso, PhO^3.

§ 248. Hemos visto que, cuando el fósforo arde libremente en el oxígeno ó en el aire atmosférico, se convierte en ácido fosfórico: pero puede producirse la combustion del fósforo de manera que se obtenga un grado inferior de oxidacion. Basta para esto hacer de modo que el aire pase lentamente por el fósforo calentado: pues en tal caso no se forma mas que ácido fosforoso. Para hacer este experimento, se coloca un pedazo de fósforo en un tubo de vidrio *ab* (fig. 246), adelgazado por una de sus extremidades *a*, dejando solamente una abertura muy estrecha; se pone en comunicacion este tubo, por su extremo *b*, con un frasco aspirador lleno de agua; se calienta el fósforo, y se deja correr el agua del frasco muy lentamente, por decirlo así, gota á gota. El aire penetra por la abertura *a*, y la combustion del fósforo se efectúa por el oxígeno de la pequeña cantidad de aire que entra, produciéndose tan solo ácido fosforoso, que se condensa en forma de un sublimado pulverulento, en la parte anterior del tubo *ab*. Este sublimado puede volatilizarse, pasando de un punto á otro, en medio de la atmósfera de azoe que llena el tubo. Cuando se calienta en contacto del aire, se enciende y se trasforma en ácido fosfórico.

Fig. 246.



El fósforo, expuesto al aire á la temperatura ordinaria, se halla siempre rodeado de un vapor blanco, luminoso en la oscuridad, que se condensa en contacto del agua bajo el estado de un líquido ácido. Lo que se produce principalmente en esta circunstancia es todavía ácido fosforoso. Cuando se quiera obtener por medio de este procedimiento una cantidad notable de ácido fosforoso, se

tomarán varios tubos de vidrio *ab* (fig. 247), terminados en *b* por una abertura de 1 á 2 milímetros de diámetro, y abiertos enteramente por el extremo opuesto *a*. Se introduce en cada uno de ellos un cilindro de fósforo, y se disponen hasta unos veinte, cargados de este modo, en un embudo (fig. 248) que se introduce en la boca de un frasco que contenga agua. Se pone este frasco sobre un plato, y se cubre con una campana abierta por su parte superior.



Fig. 247. Fig. 248.

Los cilindros de fósforo se queman lentamente en el aire á la temperatura ordinaria; el ácido fosforoso, producto de esta combustion, siendo mas pesado que el aire, cae en el frasco y se disuelve en el agua, de suerte que, pasados algunos dias, se obtiene una disolucion bastante concentrada de este ácido.

Si los cilindros de fósforo se colocasen en el embudo sin el intermedio de los tubos, el calor producido por la combustion lenta del fósforo seria bastante elevado, en los puntos en que dichos cilindros quedan muy próximos, para determinar la combustion rápida del fósforo; y habria entónces inflamacion, formándose principalmente ácido fosfórico. Los tubos de vidrio que rodean los cilindros de fósforo se oponen á este efecto, evitando el contacto entre aquellos, y la combustion se verifica con menos actividad, en razon á que el aire no llega libremente á la superficie del cuerpo combustible.

Con todo, la disolucion que resulta por este medio contiene siempre cierta cantidad de ácido fosfórico; lo cual consiste en que el ácido fosforoso, en contacto del aire, absorbe rápidamente oxígeno, y se convierte en ácido fosfórico. Se concibe por esto la dificultad de evitar que una porcion del ácido fosforoso, producido en el caso anterior, sea trasformado en ácido fosfórico.

Se obtiene ácido fosforoso muy puro, descomponiendo por el agua el protocloruro de fósforo, $PhCl^3$; se forman 3 equivalentes de ácido clorhídrico y 1 equivalente de ácido fosforoso. La reaccion está representada en la ecuacion siguiente:

$$PhCl^3 + 3HO = 3HCl + PhO^3.$$

Los ácidos fosforoso y clorhídrico quedan en disolucion, pero evaporando esta hasta la consistencia de jarabe, el ácido clorhídrico se desprende; y si en seguida se pone el liquido bajo de la

campana de la máquina neumática, se solidifica frecuentemente en una masa cristalina. Estos cristales son de ácido fosforoso hidratado, y tienen por fórmula

$$PhO^3+3HO.$$

Continuando indefinidamente, con la ayuda del calor, la evaporacion del ácido fosforoso hidratado, se observa pronto que el ácido se descompone, desprendiéndose una mezcla de gas hidrógeno é hidrógeno fosforado, que se inflama en el aire, y quedando en el líquido ácido fosfórico. El agua y el ácido fosforoso se descomponen simultáneamente: una parte del hidrógeno procedente de la descomposicion del agua se desprende, la otra se combina con el fósforo del ácido fosforoso descompuesto, y el oxígeno de este ácido con el que resulta de la descomposicion del agua se unen al ácido fosforoso restante, para trasformarlo en ácido fosfórico.

§ 219. Se prepara muchas veces el ácido fosforoso, haciendo obrar cloro sobre el fósforo, en presencia del agua. Con este objeto se pone en el fondo de una probeta (fig. 249) cierta cantidad de fósforo, y por encima se vierte agua. Se mantiene esta probeta en un baño-maría á 40 ó 50°, á fin de que el fósforo se conserve líquido, y despues se produce cloro, dirigiéndole por un tubo que baja hasta el fondo de la probeta. El cloro se combina desde luego con el fósforo, pero el cloruro de fósforo formado se descompone inmediatamente, por el contacto del agua, en ácidos fosforoso y clorhídrico.


Fig. 249.

Es difícil sin embargo obtener de este modo el ácido fosforoso muy puro; pues, en contacto del agua, un exceso de cloro trasforma rápidamente al ácido fosforoso en ácido fosforico.

§ 220. La composicion del ácido fosforoso se deduce fácilmente de la del protocloruro de fósforo. En efecto, hemos visto que, cuando el protocloruro de fósforo se descompone en contacto del agua, sus 3 equivalentes de cloro son reemplazados por otros 3 de oxígeno. Determinada pues la composicion del protocloruro de fósforo, nos será fácil, conocidos por otra parte los valores numéricos de los equivalentes del cloro y oxígeno, calcular la composicion del ácido fosforoso.

Esto supuesto, la composicion elemental del protocloruro de fósforo puede determinarse con mucha exactitud del modo siguiente:

Supongamos que se tomen 10 gramos de protocloruro de fósforo, y que se descompongan agitándolos con agua destilada en un frasco tapado al esmeril, que se determine despues el peso de cloruro de plata que se obtiene tratando la disolucion anterior por otra de nitrato de plata empleada en exceso; y se hallará que este peso es de 31^{gr},085, el cual contiene 7^{gr},686 de cloro. Luego 10 gramos de protocloruro de fósforo contendrán 7^{gr},686 cloro, y por consiguiente 100 partes en peso de protocloruro de fósforo estarán compuestas de

Cloro......	76,86
Fósforo....................	23,14
	100,00

ó bien 1	eq.	fósforo.............	100,0
3	»	cloro...............	1329,6
1	»	protocloruro de fósforo.	1729,6.

El ácido fosforoso, formándose del protocloruro por la sustitucion del cloro con una cantidad equivalente de oxígeno, deberá contener:

1	eq.	fósforo.........	400,0	57,14
3	»	oxígeno........	300,0	42,86
1	»	ácido fosforoso...	700,0	100,00.

Acido hipofosforoso, PhO.

§ 221. Cuando el fósforo hierve en contacto de una disolucion de potasa, de sosa ó barita, ó bien con una lechada clara de cal, el agua se descompone; se desprende hidrógeno fosforado, y se forma un hipofosfito de la base empleada, que queda disuelto en el líquido. Se produce una reaccion semejante descomponiendo por el agua el fosfuro de cal ó de barita.

El ácido hipofosforoso libre se prepara fácilmente por medio del hipofosfito de barita; y no hay mas que precipitar la barita por el ácido sulfúrico vertido gota á gota. Puede despues evaporarse el líquido hasta la consistencia de jarabe, sin que se descomponga; si bien la disolucion no cristaliza en ningun caso. Cuando se calienta mas este líquido viscoso, el ácido hipofosforoso se descompone, desprendiéndose hidrógeno fosforado, espontáneamente inflamable, y quedando por residuo ácido fosfórico.

El ácido hipofosforoso es muy ávido de oxígeno: reduce un gran

número de óxidos metálicos, y hace pasar al estado de metal los de mercurio y cobre. Bajo la accion de un calor suave descompone al ácido sulfúrico concentrado en ácido sulfuroso que se marcha, y en azufre que se precipita.

El ácido hipofosforoso forma con las bases sales definidas, y muchas de ellas son susceptibles de cristalizar fácilmente. Se las obtiene sin dificultad descomponiendo el hipofosfito de barita por los sulfatos solubles.

La composicion del ácido hipofosforoso se ha obtenido por el análisis de los hipofosfitos, hallándose así que este ácido está compuesto de

1 eq. fósforo.........	400,0	80,00
1 » oxígeno........	100,0	20,00
	500,0	100,00.

Mas importa mucho observar que todos los hipofosfitos analizados hasta ahora contienen agua, que no puede separarse sin que se descompongan. Es probable que los elementos de esta agua entren en la constitucion del ácido, y su fórmula no seria tan sencilla en este caso como la señalada anteriormente.

Oxido de fósforo.

§ 222. Cuando arde, en el aire ó en el oxígeno, un pedazo de fósforo colocado en una pequeña cápsula, queda siempre despues de la combustion un residuo rojo, que es un óxido de fósforo con menos oxígeno que el ácido hipofosforoso. Pero este producto no es puro, y se halla siempre mezclado con mucho ácido fosfórico.

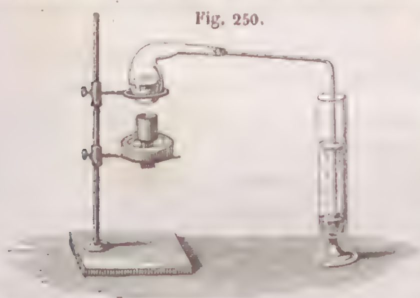


Fig. 250.

Se obtiene óxido de fósforo mas puro, colocando fósforo en una probeta con pié (fig. 250), llena de agua caliente para mantener el fósforo fundido, y haciendo pasar por este una corriente de gas oxígeno. El fósforo arde entónces con llama debajo del agua; se produce ácido fosfórico que se disuelve, y óxido de fosforo que queda interpuesto en el líquido bajo la forma de copos rojizos. Se recogen estos copos sobre un filtro, se secan rápidamente con papel sin cola,

despues de bien lavados, y por último se tratan por el sulfuro de carbono, que disuelve el fósforo libre, mezclado solamente con el óxido.

El óxido de fósforo absorbe prontamente el oxígeno del aire y acaba por pasar al estado de ácido fosfórico. Calentado, sin el contacto del aire, se descompone en fósforo y en ácido fosfórico.

El fósforo mezclado mecánicamente con una pequeña cantidad de óxido de fósforo, es mucho mas combustible que cuando está puro. En los laboratorios se obtienen con frecuencia estas mezclas, al fundir los residuos de fósforo que se ha conservado mucho tiempo en frascos mal tapados. Hemos dicho ya que este fósforo impuro es mas combustible, y que debe ser manejado con mas precauciones todavía que el fósforo trasparente.

Para tener la composicion del óxido de fósforo, se trasforma un cierto peso, 1 gramo por ejemplo, en ácido fosfórico, valiéndose del ácido nítrico. Se añade despues á la disolucion un peso conocido p de óxido de plomo, que debe ser mas que suficiente para saturar el ácido fosfórico formado. Se evapora hasta sequedad, y se calcina el residuo hasta que ya no se desprendan vapores rojos. Sea p' el peso de este residuo, y es claro que $(p'—p)$ será el peso del ácido fosfórico formado. Como la composicion del ácido fosfórico nos es conocida, sabremos cuál es el peso q de fósforo contenido en $(p'—p)$ de ácido fosfórico, y concluiremos de nuestro experimento, que 1 gramo de óxido de fósforo contiene q de fósforo, y en consecuencia $(1—q)$ de oxígeno. Los diversos análisis del óxido de fósforo, hechos por este método, han dado composiciones bastante diferentes, siendo aun muy incierta su verdadera fórmula.

Recapitulacion de las combinaciones del fósforo con el oxígeno. Equivalente del fósforo.

§ 223. Los tres compuestos bien definidos del fósforo con el oxígeno presentan la composicion siguiente:

Acido hipofosforoso....	Fósforo....	80,00
	Oxígeno...	20,00
		100,00
Acido fosforoso........	Fósforo....	57,14
	Oxígeno...	42,86
		100,00
Acido fosfórico........	Fósforo....	44,44
	Oxígeno...	55,56
		100,00.

La composicion de estas sustancias, referida á una misma cantidad 100 de fósforo, es

Acido hipofosforoso....	Fósforo....	100,00
	Oxígeno...	25,00
		125,00
Acido fosforoso........	Fósforo....	100,00
	Oxígeno...	75,00
		175,00
Acido fosfórico........	Fósforo....	100,00
	Oxígeno...	125,00
		225,00.

Las cantidades de oxígeno, combinadas en estos tres compuestos con una misma cantidad de fósforo, guardan entre sí la relacion de los números 1:3:5. Las fórmulas mas sencillas que podrán tener estas combinaciones serán

Acido hipofosforoso... PhO
Acido fosforoso....... PhO^3
Acido fosfórico....... PhO^5.

El equivalente del fósforo resultará pues de una cualquiera de las tres proporciones

$$\left.\begin{array}{l} 20,00 : 80,00 :: 100 : x \\ 42,86 : 57,14 :: 300 : x \\ 55,56 : 44,44 :: 500 : x \end{array}\right\} \text{de donde } x = 400,00.$$

Los valores numéricos de los equivalentes de los tres compuestos serán segun esto

Acido hipofosforoso... $PhO = 500,00$
Acido fosforoso...... $PhO^3 = 700,00$
Acido fosfórico....... $PhO^5 = 900,00$.

Es menester comparar estos equivalentes teóricos con los que se deducen inmediatamente del análisis de las sales.

El análisis del hipofosfito de plomo ha hecho ver que el equivalente del ácido hipofosforoso era igual á 500,0; y así la fórmula PhO es la que verdaderamente corresponde á este ácido.

El exámen de los fosfitos ha dado igual resultado para el ácido fosforoso, y ha confirmado la fórmula PhO^3.

En cuanto al ácido fosfórico, veremos mas adelante que forma

muchas séries de sales con la misma base, de las cuales será menester admitir tres clases, á saber:

1° Sales en que 1 eq. de ácido satura 3 eq. de base;
2° Sales en que 1 eq. de ácido satura 2 eq. de base;
3° Sales en que 1 eq. de ácido satura 1 eq. de base.

El valor numérico que se saca por el análisis de estas diversas sales, para el equivalente del ácido fosfórico, teniendo en cuenta los tres diferentes grados de saturacion que acabamos de indicar, es iempre de 900,00. Así puede decirse, que el estudio detenido sobre los fosfatos justifica tambien la fórmula PhO^5 del ácido fosfórico.

La densidad del vapor de fósforo se ha hallado, por la experiencia directa, igual á 4,326. Es fácil calcular el volúmen de fósforo gaseoso que representa su equivalente en volúmen. En efecto, tomemos como punto de partida la composicion del ácido fosforoso, que consideramos formado de 1 equivalente de fósforo y 3 de oxígeno. Los tres equivalentes de oxígeno están representados por 3 volúmenes, que pesan $3.(1,1056) = 3,3168$; luego, estableciendo la proporcion

$$300 : 400 :: 3,3168 : x,$$

hallaremos, para el peso del vapor de fósforo combinado con 3 volúmenes de oxígeno, $x = 4,4224$, que se diferencia muy poco de la densidad 4,326, dada por la experiencia para el vapor de fósforo. El ácido fosforoso contendrá, pues, 3 volúmenes de oxígeno y 1 volúmen de vapor de fósforo, y el equivalente del fósforo gaseoso estará representado por 1 volúmen.

En la teoría atómica se escriben los compuestos del fósforo con el oxígeno del modo siguiente:

Acido hipofosforoso...	Ph^2O ó	PhO
Acido fosforoso.......	Ph^2O^3	PhO^3
Acido fosfórico.......	Ph^2O^5	PhO^5.

Ahora bien, correspondiendo dos átomos de fósforo á nuestro equivalente, el peso atómico del fósforo será igual á 200,0. Se ha adoptado esta composicion, porque da para las combinaciones del fósforo con el oxígeno y el hidrógeno fórmulas semejantes á las que representan las combinaciones del azoe con estos mismos cuerpos.

Partiendo de la hipótesis (§ 93) de que todos los gases simples contienen el mismo número de átomos bajo un volúmen igual, se llegaria á fórmulas atómicas diferentes. En efecto, la composicion

del ácido fosfórico es distinta de la del ácido nítrico : en este ácido. 5 volúmenes de oxígeno se hallan combinados con 2 volúmenes de azoe ; miéntras que en el ácido fosfórico, lo están con 1 volúmen solamente de vapor de fósforo. Por consiguiente, si se escribe la fórmula atómica del ácido nítrico Az^2O^5, será menester, si hemos de ser fieles á la hipótesis que acabamos de citar, escribir la del ácido fosfórico PhO^5. Las fórmulas de ambos ácidos, y por consecuencia las de las otras combinaciones del azoe y del fósforo, no serian ya respectivamente semejantes entre sí.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON EL HIDRÓGENO.

§ 224. El fósforo y el hidrógeno se combinan en tres proporciones, y forman : 1° una combinacion gaseosa, que llamaremos *gas hidrógeno fosforado ;* 2° un compuesto líquido mas rico en fósforo ; 3° un compuesto sólido, que contiene la mayor proporcion de fósforo.

Puede obtenerse el gas hidrógeno fosforado por muchos procedimientos :

1° Se llena un pequeño matraz hasta las tres cuartas partes de su capacidad con una disolucion concentrada de potasa cáustica (fig. 251); se incorporan algunos pedazos de fósforo, y se calienta la mezcla. No tardan en desprenderse pequeñas burbujas de gas, que se inflaman en cuanto llegan al contacto del aire, y á fin de que este sea expelido del matraz, se deja perder una pequeña cantidad de gas ántes de adaptar el tubo encorvado. Esta precaucion es indispensable ; pues si se tapara inmediatamente el vaso, el gas inflamable, al ponerse en contacto con el aire que aquel encierra, podria ocasionar una explosion. Se hace que el gas se desprenda debajo del agua ; y se observa que las burbujas al salir al aire se inflaman , produciendo coronas de vapores blancos , que se ensanchan segun se van elevando , y son muy regulares cuando no hay agitacion en el aire. Si estas burbujas pasan directamente á una campana que contenga gas oxígeno, la llama es mucho mas viva ; pero debe cuidarse en este experimento de que el gas fosforado se desprenda en pequeñas burbujas, pues de lo contrario podria ocasionar una explosion.


Fig. 251.

La teoría de esta reaccion es la siguiente: el fósforo por sí solo no descompone el agua, pero hallándose en presencia de la potasa, la afinidad de esta base con el ácido hipofosforoso, que es uno de los productos, determina la reaccion, del mismo modo que lo hace la presencia del ácido sulfúrico en la descomposicion del agua por el zinc á la temperatura ordinaria, segun hemos visto al tratar del gas hidrógeno (§ 74). Una porcion del fósforo se combina con el oxígeno para formar ácido hipofosforoso, que produce con la potasa hipofosfito de potasa, y el hidrógeno se une con otra porcion de fósforo, desprendiéndose en estado de hidrógeno fosforado.

El gas que se obtiene así se halla mezclado frecuentemente con hidrógeno libre; lo cual puede reconocerse, introduciendo en la campana que contiene el gas una disolucion de sulfato de cobre, que absorbe el hidrógeno fosforado, y deja al hidrógeno en libertad. La presencia de este último se explica del modo siguiente: cuando se calienta una disolucion de hipofosfito de potasa juntamente con un exceso de potasa, el agua se descompone: el oxígeno se une al hipofosfito convirtiéndolo en fosfato, y el hidrógeno libre se desprende. Se concibe que esta reaccion debe ser simultánea con la primera, en la preparacion que acabamos de describir.

Puede reemplazarse la disolucion de potasa por la cal hidratada. Se hace una pasta con cal apagada y agua, y se forman unas bolitas, metiendo en cada una de ellas un pedacito de fósforo. Se ponen unas cuantas en un pequeño matraz, y se las sujeta á la accion del fuego; el fósforo se funde y produce una reaccion análoga á la que ántes hemos indicado.

Pero el mejor procedimiento, el que proporciona gas mas puro, consiste en descomponer el fosfuro de cal por el agua. Este fosfuro se prepara calentando la cal en medio de una corriente de vapor de fósforo. Se forman unas bolitas de cal hidratada, y se las calcina; se llena con ellas un tubo de vidrio poco fusible, cerrado por un extremo, y en cuyo fondo se han colocado algunos pedazos de fósforo; se calienta el tubo hasta el calor rojo, y despues se aproximan algunas ascuas á la extremidad que contiene el fósforo, cuyo vapor atraviesa el tubo, y se combina con la cal.


Fig. 252.

Cuando se quiera obtener una gran cantidad de este gas, se llena de bolitas de cal un crisol grande de barro (fig. 252), en cuyo fondo se ha abierto

un agujero por el cual entra el cuello de un pequeño matraz que contiene fósforo. El crisol se coloca sobre la rejilla de un horno, de manera que el matraz venga á quedar debajo de ella. Se calienta el crisol hasta el rojo vivo, y se aproximan algunas ascuas al matraz, para hacer que el fósforo destile lentamente : los vapores de este pasan al crisol y se combinan con la cal.

Fig. 253.

Basta ahora echar en el agua el fosfuro de cal obtenido (fig. 253), para que la reaccion se produzca al instante, y se desprenda el hidrógeno fosforado espontáneamente inflamable.

§ 225. El hidrógeno fosforado es un gas incoloro, de un olor muy fétido y característico; su densidad es 1,185, y el agua le disuelve en muy corta cantidad. Si este gas se conserva algun tiempo sobre el mercurio, sufre una alteracion notable : sobre las paredes de la campana se forma un ligero depósito pardo, y el gas pierde la propiedad de inflamarse espontáneamente en contacto del aire. Su volúmen apénas cambia, y, haciendo su análisis, se le encuentra con corta diferencia la misma composicion.

Se obtiene muy pronto este gas, no espontáneamente inflamable, descomponiendo el fosfuro de cal no ya por el agua, sino por el ácido clorhídrico. Se le prepara tambien calentando los ácidos fosforoso é hipofosforoso. Estos ácidos son hidratados, y bajo la influencia del calor, el ácido y el agua se descomponen á un tiempo : una parte del ácido pierde su fósforo, que se combina con el hidrógeno para formar hidrógeno fosforado, miéntras su oxígeno se combina con otra porcion del ácido, y la convierte en ácido fosfórico.

Esta diferencia* entre las propiedades del gas hidrógeno fosforado, obtenido por uno ú otro de estos dos procedimientos, proviene de la presencia, en el gas espontáneamente inflamable, de una pequeña cantidad de otro hidrógeno fosforado mas rico en fósforo que el primero, y susceptible de inflamarse en contacto del aire, y de liquidarse á una baja temperatura. Para separar este líquido, es necesario solamente hacer que el gas hidrógeno fosforado, espontáneamente inflamable, atraviese por un tubo en U enfriado con una mezcla frigorífica : en este tubo se condensan á la vez agua, que se solidifica, y un líquido incoloro, que puede separarse haciéndole pasar á la parte del tubo donde no se ha congelado agua, y

* El fosfuro de hidrógeno líquido, cuyos vapores hacen espontáneamente inflamable al gas hidrógeno fosforado, ha sido aislado la primera vez por M. Paul Thenard, quien ha explicado de este modo las anomalías que se habian encontrado en las propiedades de dicho gas.

cerrando en seguida este tubo á la lámpara. El gas que sale del tubo en U ha perdido la propiedad de inflamarse en el aire.

El fosfuro de hidrógeno líquido es muy poco estable, y solo se conserva en la oscuridad. Expuesto á la luz, se descompone muy pronto en gas hidrógeno fosforado, y en un cuerpo sólido, amarillo anaranjado, que es un tercer fosfuro de hidrógeno con mas fósforo que el fosfuro líquido. Este cuerpo es justamente el que se deposita sobre las paredes de las campanas en que se conserva el gas hidrógeno espontáneamente inflamable, que deja de serlo por esta causa.

El fosfuro de hidrógeno líquido se descompone mucho mas fácilmente en contacto de ciertos ácidos, tales como el ácido clorhídrico, etc.; y por esto se obtiene siempre gas no espontáneamente inflamable, cuando se descompone el fosfuro de cal por el ácido clorhídrico.

El gas hidrógeno fosforado puro, despojado de fosfuro líquido, no es espontáneamente inflamable á la temperatura ordinaria; pero con solo aumentar un poco la temperatura, su combustion es fácil, y calentado á 100°, se inflama en contacto del aire.

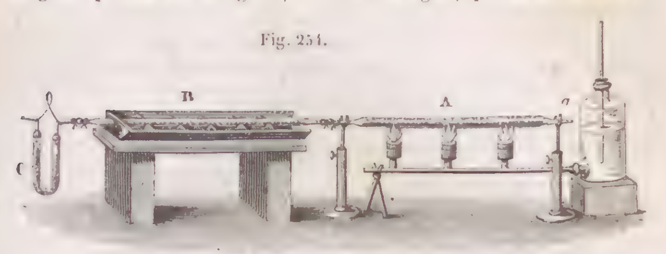
Hay una multitud de cuerpos que privan muy pronto al gas hidrógeno fosforado de la propiedad de ser espontáneamente inflamable, y son todos aquellos que descomponen con facilidad el fosfuro líquido. Hállanse otros, principalmente los oxidantes, como el deutóxido de azoe, etc., que por el contrario le comunican la propiedad enunciada, descomponiendo una pequeña cantidad del gas, á la cual roban una porcion de su hidrógeno, y la hacen pasar de este modo al estado de hidruro de fósforo líquido, que queda bajo la forma de vapor en el gas no descompuesto.

Un experimento muy sencillo prueba que la presencia, en el gas hidrógeno fosforado, del fosfuro líquido en vapor, es lo que da al gas la propiedad de inflamarse espontáneamente en contacto del aire, á la temperatura ordinaria. En efecto, esta propiedad puede ser comunicada á todos los gases combustibles, agregándoles una cantidad muy pequeña de vapor de fosfuro líquido; y así, introduciendo en una campana llena de gas hidrógeno una gota de este fosfuro, se obtiene una mezcla gaseosa que se inflama inmediatamente en contacto del aire. Los vapores de fosfuro líquido se encienden primero, y comunican su inflamacion al gas hidrógeno.

§ 226. Se analiza el gas hidrógeno fosforado haciéndole pasar primeramente por un tubo A (fig. 254), lleno de cobre calentado hasta el rojo: el gas se descompone, el cobre se apodera del fósforo y el hidrógeno queda libre. Este pasa entónces por un segundo

tubo B enrojecido al fuego, y lleno de óxido de cobre, cuyo oxígeno quema al hidrógeno, resultando agua, que se condensa en

Fig. 254.



un tubo C lleno de piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico. El primer tubo A, pesado ántes y despues de la operacion, dará por su aumento en peso la cantidad de fósforo. Para que el tubo A no sufra alteracion durante el experimento, se le calienta con lámparas de alcohol dispuestas como manifiesta la figura. Es necesario ademas llenar los tubos de gas azoe, ántes de dar principio al experimento y concluido este, hacer pasar aun una corriente del mismo gas. Esto se ejecuta fácilmente con un gasómetro lleno de gas azoe, que puede ponerse en comunicacion con la extremidad *a* del tubo A. Se ha hallado así, que 100 partes en peso de gas hidrógeno fosforado contienen

Hidrógeno.......	8,57
Fósforo..........	91,43
	100,00.

Esta composicion corresponde á la siguiente en volúmen :

1 $\frac{1}{2}$ vol. hidrógeno...........	0,1032
$\frac{1}{4}$ vol. vapor de fósforo......	1,0815
	1,1847;

y en efecto, se ha hallado por la experiencia que la densidad del gas hidrógeno fosforado es de 1,185.

Hemos visto en lo que antecede, que en 1 volúmen de gas amoniaco entra tambien 1 $\frac{1}{2}$ volúmen de gas hidrógeno, pero $\frac{1}{2}$ de gas azoe; miéntras el hidrógeno fosforado encierra solamente $\frac{1}{4}$ volúmen de vapor de fósforo. Hemos dicho que los compuestos del azoe y del fósforo se correspondian completamente: presentándose en este caso la misma anomalía que ya hemos hallado entre el gas ácido sulfhídrico y el vapor de agua (§ 157). Esta anomalía desaparece,

suponiendo que el vapor de fósforo se halle formado por un grupo de dos moléculas químicas.

Hemos adoptado el número 400,0 como equivalente del fósforo. y vamos á calcular la composicion del gas hidrógeno fosforado refiriéndola al peso 400 de fósforo. Estableceremos la proporcion

$$91,43 : 8,57 :: 400 : x,$$

de donde $$x = 37,50;$$

y, como 37,50 de hidrógeno representan 3 equivalentes de este cuerpo, el gas hidrógeno fosforado contendrá

1 eq.	fósforo...............	400,00
3 »	hidrógeno............	37,50
1 »	hidrógeno fosforado.....	437,50.

La composicion del fosfuro de hidrógeno líquido ha sido determinada por la cantidad de fosfuro sólido y de gas hidrógeno fosforado que produce cuando se le descompone. Esta composicion se halla representada en equivalentes por PhH^2.

Por último, se determina la composicion del fosfuro sólido, buscando el volúmen de gas hidrógeno que da un peso conocido de este fosfuro, cuando se le descompone por el cobre metálico en un tubo calentado hasta el rojo. La fórmula del fosfuro sólido en equivalentes es Ph^2H.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON EL AZOE.

Fosfuro de azoe, Az^2Ph.

§ 227. Haciendo pasar gas amoniaco seco por el protocloruro de fósforo líquido, el gas es absorbido en gran cantidad, y se obtiene un cuerpo cristalizado blanco, que tiene por fórmula

$$PhCl^3.4AzH^3.$$

Este cuerpo, en contacto con el agua, se trasforma en fosfito de amoniaco y en clorhidrato de amoniaco, segun la reaccion siguiente:

$$PhCl^3.4AzH^3 + 4HO = 3(HCl.AzH^3) + PhO^3(AzH^3.HO).$$

Si se calienta este producto en una pequeña retorta, se desprenden diferentes gases, y se sublima una gran cantidad de sal amoniaco. Continuando la accion del fuego hasta que cese el des-

prendimiento, se obtiene en el fondo de la retorta un residuo blanco, que es el fosfuro de azoe.

Este cuerpo puede soportar la accion de un color rojo, sin descomponerse ni menos volatilizarse ni fundirse, y es insoluble en el agua y en casi todos los ácidos. Su análisis se ejecuta fácilmente calentando un peso conocido, mezclado con óxido de cobre, en un aparato igual al que nos ha servido para determinar la proporcion de azoe que encierra el nitrato de plomo (§ 113). Se halla de este modo la composicion siguiente:

1 eq.	fósforo....	400,0	53,33
2 »	azoe......	350,0	46,67
		750,0	100,00.

Su fórmula será segun esto Az^2Ph.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON EL AZUFRE.

§ 228. El azufre y el fósforo se combinan en muchas proporciones. Cuando se pone un pedazo de azufre en contacto con otro de fósforo, y se les somete á la accion de un calor suave, el necesario solamente para fundirlos, la combinacion se verifica con desprendimiento de calor y algunas veces con explosion. Este experimento peligroso debe ejecutarse con muchas precauciones, y para hacerlo sin riesgo, se coloca el fósforo en un matraz de vidrio que contenga agua, se le calienta hasta que se haya derretido, y despues se introduce sucesivamente el azufre en pequeños fragmentos. Por este medio puede combinarse con el fósforo una proporcion considerable de azufre, sin que la materia pierda su estado líquido; pero si se la deja enfriar, una parte considerable del azufre se separa por cristalizacion. Si al contrario se añade poco azufre y el fósforo se halla en exceso, este último es el que cristaliza durante el enfriamiento del líquido.

Combinando 1 equivalente de fósforo con 1 de azufre, esto es, 1 parte en peso de fósforo con 2 de azufre, se obtiene un producto que es aun líquido á $+5^{\circ}$; pero á una temperatura inferior se solidifica, y no presenta cristalizacion regular.

El fósforo forma con el azufre un gran número de combinaciones definidas, que en general corresponden á las que produce con el oxígeno; pero como estas combinaciones son comunmente mas combustibles que el fósforo aislado, es necesario manejarlas con mucho cuidado.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON EL CLORO.

§ 229. El cloro y el fósforo se combinan en dos proporciones. Estas combinaciones tienen por fórmula $PhCl^3$ y $PhCl^5$, y corresponden á los ácidos fosforoso, PhO^3, y fosfórico, PhO^5.

El aparato que se emplea para obtenerlas es igual al que hemos descrito (§ 192) para preparar los cloruros de azufre. El fósforo se coloca en la retorta tubulada D (fig. 255); y su combinacion con el

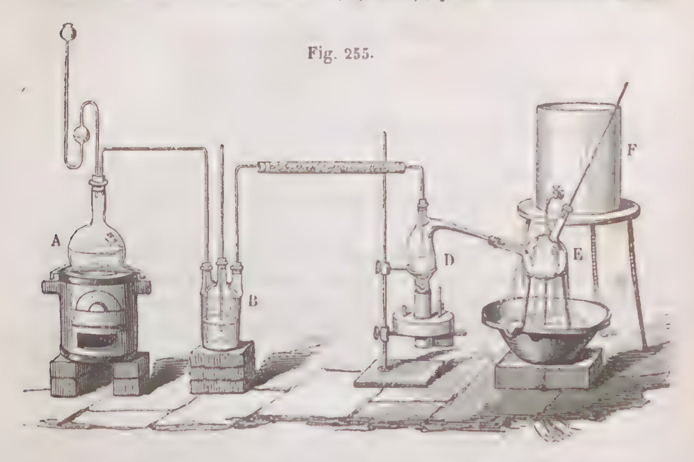


Fig. 255.

cloro se efectúa con gran desprendimiento de calor y frecuentemente de luz. Un fragmento de fósforo puesto en una pequeña cápsula, y al cual se haya prendido fuego, continúa ardiendo con una llama verdosa, cuando se le introduce en un frasco lleno de cloro.

La temperatura elevada que se produce durante la combinacion ocasiona á menudo la rotura de la retorta tubulada, y para evitarla se pone en el fondo de esta una capa de arena sobre la cual se coloca el fósforo. A fin de impedir la formacion del percloruro, es necesario calentar la retorta hasta cerca del punto de ebullicion del fósforo; pues de este modo el cloro se encuentra constantemente en una atmósfera de fósforo en exceso, y el protocloruro de fósforo destila conforme se va produciendo. Se detiene la operacion ántes que haya desaparecido todo el fósforo. El líquido destilado contiene fósforo disuelto, que se separa por una segunda destilacion.

El protocloruro de fósforo es un líquido incoloro, muy claro y de una densidad igual á 1,45; hierve á 78°, y la densidad de su vapor es de 4,742.

En contacto del agua el protocloruro produce ácido clorhídrico y ácido fosforoso. Hemos visto que puede utilizarse esta propiedad para hacer su análisis, habiendo encontrado así (§ 220), que este cuerpo se halla compuesto de

1 eq. fosforo........	400,0	23,13
3 » cloro...........	1329,6	76,87
	1729,6	100,00.

1 volúmen de protocloruro de fósforo se compone de

$\frac{1}{4}$ vol. vapor de fósforo....	$\frac{4,326}{4}=1,0845$
$1\frac{1}{2}$ » cloro....................	3,6600
	4,7445.

La densidad teórica de su vapor será segun esto 4,744, que es idéntica á la obtenida directamente por la experiencia.

§ 230. El protocloruro de fósforo, sometido á la accion del cloro, absorbe una gran cantidad de este gas, y se trasforma al fin en una materia blanca y cristalina, que es el percloruro de fósforo. Este hierve hácia los 148°, y se funde con corta diferencia á la misma temperatura; de manera que, bajo la presion ordinaria de la atmósfera, el percloruro de fósforo pasa inmediatamente del estado sólido al gaseoso.

En contacto del agua el percloruro de fósforo se convierte en ácido clorhídrico y en ácido fosfórico, segun la ecuacion

$$PhCl^5+5HO=PhO^5+5HCl.$$

El análisis de este compuesto puede hacerse del mismo modo que el del protocloruro, pero tambien puede deducirse su composicion de la del ácido fosfórico, que hemos determinado directamente; y no hay mas que reemplazar los 5 equivalentes de oxígeno del ácido fosfórico por 5 equivalentes de cloro. Se tendrá así:

1 eq. fósforo.....	400,0	15,29
5 » cloro......	2216,0	84,71
	2616,0	100,00.

La densidad del vapor de percloruro de fósforo se ha hallado ser igual á 3,66.

Por consiguiente, 1 volúmen de este vapor resultará formado de

$\frac{1}{4}$ vol.	vapor de fósforo......	1,085
1 »	cloro..............	2,440
		3,525;

y puede considerársele compuesto de

1 vol.	protocloruro de fósforo.	4,744
1 »	cloro..............	2,440
		7,184;

cuya mitad es igual á 3,59, sin condensacion.

COMBINACIONES DEL FÓSFORO CON EL IODO.

§ 231. El iodo y el fósforo, calentados juntamente, se combinan con desprendimiento de calor; pero hasta ahora no han podido aislarse compuestos definidos de estos dos cuerpos. Si se tratan por el agua estas combinaciones, se destruyen produciendo ácido iodhídrico y ácidos fosforoso y fosfórico. Hemos sacado partido de esta reaccion para preparar el gas ácido iodhídrico (§ 204).

ARSÉNICO.

Equivalente = 937,5.

§ 232. El arsénico es muy parecido á los metales en sus propiedades físicas, pero sus combinaciones tienen tanta analogía con las correspondientes del fósforo, que es conveniente no separar el estudio de estos dos cuerpos.

El arsénico es de un gris de hierro, muy quebradizo; posee brillo metálico, y su densidad es de 5,8 próximamente. Calentado hasta el rojo sombrío, se sublima inmediatamente sin fundirse, y parece al pronto que solo puede tomar el estado sólido y el gaseoso. Esto consiste en que la temperatura á que se funde este cuerpo se halla muy próxima al punto de su ebullicion, bajo la presion ordinaria de la atmósfera. Los cuerpos volátiles emiten vapores á una temperatura muy inferior á la de su ebullicion, y esta propiedad pertenece tanto á los cuerpos sólidos como á los líquidos. El arsénico dará pues vapores abundantes á una temperatura algo inferior á su punto de ebullicion, y podrá sublimarse enteramente ántes de llegar á la temperatura de fusion.

Pero puede aumentarse cuanto se quiera el intérvalo entre el punto de fusion de un cuerpo y el de su ebullicion. En efecto, *el punto de ebullicion de un cuerpo es la temperatura á la cual la fuerza elástica de su vapor se equilibra con la presion que se ejerce sobre él*: aumentando esta última, el punto de ebullicion se eleva necesariamente, al paso que no ejerce influencia sensible sobre el de fusion. Se obtiene efectivamente el arsénico fundido, cuando en vez de calentarlo en un tubo abierto, se le calienta en un tubo de vidrio, de paredes gruesas y cerrado herméticamente á la lámpara; la presion mas fuerte que se ejerce entónces sobre el arsénico, se opone á la ebullicion de este cuerpo, que puede de este modo ser fundido mucho ántes de que principie á hervir.

Por la inversa, es evidente que sometiendo un cuerpo sólido volátil á una presion suficientemente débil, podrá hervir á una temperatura inferior á la que determina su fusion. El hielo, por ejemplo, emite vapores á la temperatura de—4°, que poseen una fuerza elástica representada por $4^{mm},27$; ó de otro modo, hierve á la temperatura de — 4° bajo la presion de $4^{mm},27$. El hielo podrá segun esto volatilizarse enteramente *por ebullicion* bajo esta ténue presion, sin llegar á la temperatura á que se funde, ó sea á 0°.

El vapor de arsénico es incoloro, con un olor á ajos característico, que se produce cuando se echa sobre las ascuas un poco de arsénico en polvo. Este vapor tiene por densidad 10,37, y se depo-

sita siempre en forma de cristales, de modo que es fácil obtener el arsénico cristalizado por sublimacion. Para el efecto, se pone cierta cantidad de arsénico en una retorta de barro, hasta llenar el tercio de su capacidad poco mas ó menos; se coloca esta retorta sobre un hornillo, y se rodea de carbon encendido la parte inferior nada mas. A fin de que el aire exterior no penetre con demasiada facilidad en la retorta, se disminuye la abertura de esta adaptando un tapon que tenga un agujerito estrecho: el arsénico sublimado se condensa en la parte superior y en el cuello de la retorta. Se deja que esta se enfríe, terminada la operacion, y despues se la rompe: se encuentran pegados á sus paredes una multitud de cristales muy brillantes, que son romboedros, si bien es difícil reconocer su forma por hallarse ordinariamente agrupados.

El arsénico en contacto del aire se oxida, aun á la temperatura ordinaria, y su superficie se deslustra cubriéndose de un polvo negrusco. Se le devuelve fácilmente el brillo metálico, dejándole sumergido algunas horas en una disolucion de cloro.

El arsénico es combustible y arde con una llama lívida: el producto de la combustion es *ácido arsenioso*, que es lo que comunmente se llama *arsénico*, y se le obtiene en las artes metalúrgicas por la *tostion* * de los arseniuros metálicos. El ácido arsenioso se descompone fácilmente por el carbon, el cual se apodera de su oxígeno y le reduce al estado de arsénico metálico.

En las artes preparan el arsénico metálico descomponiendo por el calor un compuesto de arsénico, azufre y hierro, que se encuentra en la naturaleza, y es conocido con el nombre de *mispickel* por los mineralogistas. Se pone esta materia en unos cilindros de barro cocido, de 1 metro de longitud y de unos 3 decímetros de diámetro, se le incorporan algunos pedazos de hierro, que tienen por objeto retener mas completamente el azufre, y se adapta á cada uno de estos cilindros otro mas corto y ancho, que sirve de recipiente. Se disponen varios de ellos en un mismo horno, y se les calienta hasta un fuerte calor rojo. El arseniosulfuro de hierro se convierte en sulfuro de hierro, y el arsénico se sublima en el recipiente. Se le purifica, destilándole segunda vez mezclado con un poco de carbon.

COMBINACIONES DEL ARSÉNICO CON EL OXÍGENO.

§ 233. Se conocen dos combinaciones del arsénico con el oxígeno: una corresponde al ácido fosforoso y otra al ácido fosfórico.

* Se llama *tostar una sustancia*, calentarla en contacto del aire de modo que se combine con el oxígeno.

Acido arsenioso, AsO^3.

§ 234. Cuando se calienta el arsénico en medio de una corriente de aire atmosférico ó de oxígeno, se trasforma en una materia blanca que se sublima; y esta es el ácido arsenioso. Se le encuentra en el comercio, y se emplea mucho en la pintura, principalmente en estado de arsenito de cobre, que forma un hermoso color verde.

El ácido arsenioso resulta de la tostion de ciertos arseniosulfuros metálicos, como los de hierro, niquel y cobalto. Por lo regular, el objeto principal del tratamiento de estos minerales es la extraccion del metal combinado con el arsénico, y esto es lo que siempre sucede cuando se tratan los arseniosulfuros de cobalto y niquel. El mineral se coloca ordinariamente sobre el suelo de un horno de reverbero, y queda de este modo expuesto á la accion de la corriente de aire que se ha calentado en el hogar: el azufre se convierte en ácido sulfuroso, y el arsénico en ácido arsenioso. El primero se desprende por la chimenea, miéntras el ácido arsenioso se condensa en los conductos puestos al efecto entre aquella y el suelo del horno. Para obtener el ácido arsenioso puro, basta someter el ácido en bruto, formado segun acabamos de indicar, á una segunda sublimacion en tubos de palastro.

El ácido arsenioso, recien obtenido, se presenta en forma de masas vítreas perfectamente incoloras; pero los fragmentos, abandonados á sí mismos durante algun tiempo, se vuelven opacos y toman el aspecto de la porcelana. Esta alteracion se efectúa sucesivamente desde la superficie al centro de los fragmentos, y cuando se parten los que tienen el aspecto de porcelana, suele hallarse su interior formado por un núcleo que es aun vítreo.

El ácido opaco y el ácido vítreo son dos estados isoméricos de la misma materia, sin que haya podido apreciarse la menor variacion en su peso durante este cambio: sin embargo el ácido arsenioso, en estas dos modificaciones, presenta propiedades muy distintas.

La solubilidad del ácido vítreo en el agua es como tres veces la del ácido opaco, y tambien se disuelve con mas rapidez.

El ácido opaco se trasforma en ácido vítreo por una ebullicion prolongada con el agua. 1 litro de agua hirviendo disuelve muy cerca de 110 gramos de ácido arsenioso vítreo.

Bajo la influencia del agua y de una temperatura baja, el ácido vítreo se convierte en ácido opaco; de suerte que una disolucion

saturada del primero llega á tomar, despues de algun tiempo, el punto de saturacion que corresponde al segundo.

La division mecánica trasforma el ácido vítreo en ácido opaco, y así es que, reduciendo aquel á polvo muy fino, su solubilidad disminuye y viene á ser igual á la del ácido opaco.

La disolucion de ácido arsenioso enrojece la tintura de tornasol, pero solo á la manera de los ácidos débiles.

El ácido arsenioso se disuelve en el ácido clorhídrico dilatado, mas fácil y abundantemente que lo hace en el agua pura.

Este ácido no tiene olor sensible á la temperatura ordinaria; echando un pedazo sobre uno ladrillo calentado, se volatiliza formando un humo blanco con olor poco característico; pero proyectándolo sobre las ascuas, da al instante un olor á ajos sumamente fuerte. Este olor es producido por el vapor de arsénico metálico, pues el carbon ha descompuesto en parte al ácido arsenioso.

Puede obtenerse la composicion del ácido arsenioso, determinando el aumento que tiene un peso conocido de arsénico, despues de haberlo trasformado en ácido arsenioso calentándole en medio de una corriente de gas oxígeno; pero es mejor deducir esta composicion del análisis del protocloruro de arsénico, del mismo modo que hemos deducido la del ácido fosforoso del análisis del protocloruro de fósforo (§ 220). En efecto, el cloruro de arsénico se descompone en contacto del agua en ácidos arsenioso y clorhídrico. Por este medio se ha hallado la siguiente composicion para el ácido arsenioso:

Arsénico.............	937,50	75,75
Oxígeno.............	300,00	24,25
	1237,50	100,00.

Acido arsénico, AsO^5.

§ 235. Se obtiene el ácido arsénico haciendo hervir el ácido arsenioso con agua regia en exceso: se evapora despues hasta sequedad para que se desprendan los ácidos clorhídrico y nítrico. El residuo desecado se disuelve muy poco á poco en el agua, aunque lo hace en gran cantidad. Sometiendo esta disolucion á una evaporacion lenta, se depositan gruesos cristales, que son de ácido arsénico hidratado. Este se disuelve fácilmente en el agua, pero lo verifica con mucha mas lentitud cuando pierde por el calor su agua de cristalizacion.

El ácido arsénico calentado hasta el rojo sombrío se descompone en ácido arsenioso que se sublima, y en oxígeno que se desprende

La composicion del ácido arsénico se determina fácilmente, hallando el peso de ácido arsénico que produce otro peso determinado de ácido arsenioso.

Con este objeto, se calienta 1 gramo de ácido arsenioso mezclado con ácido nítrico concentrado; se evapora casi hasta sequedad y despues se añaden 10 gramos de óxido de plomo; se deseca completamente y se calcina el residuo. Este residuo se compone del peso de óxido de plomo añadido, mas el peso p de ácido arsénico producido por el ácido arsenioso. 1 gramo de ácido arsenioso habrá absorbido ($p - 1$) gramos de oxígeno para convertirse en ácido arsénico. Se halla de este modo que el ácido arsénico está formado de

1 eq. arsénico...........	937,50	65,22
5 » oxígeno...........	500,00	34,78
1 ». ácido arsénico......	1437,50	100,00.

Cuando se expone al aire húmedo arsénico reducido á polvo fino, se convierte en una materia negra, que algunos químicos consideran como un óxido particular con menos oxígeno que el ácido arsenioso. Esta materia calentada en un tubo cerrado se trasforma en arsénico y en ácido arsenioso.

COMBINACIONES DEL ARSÉNICO CON EL HIDRÓGENO.

§ 236. Se conocen dos combinaciones del arsénico con el hidrogeno: la primera es gaseosa y lleva el nombre de *gas hidrógeno arsenical*, y la segunda es sólida.

Se prepara el gas hidrógeno arsenical, tratando el arseniuro de estaño por el ácido clorhídrico concentrado. Este arseniuro se obtiene fundiendo en un crisol 3 partes de estaño con 1 de arsénico. Se introduce el arseniuro pulverizado en un pequeño matraz, y se vierte ácido clorhídrico por un tubo en S; el desprendimiento principia en frio, pero se le activa con algunas ascuas. Se produce cloruro de estaño, que queda en el matraz, y gas hidrógeno arsenical que se desprende. Este se obtiene mezclado siempre con hidrógeno libre; lo cual consiste en que el estaño no se encuentra combinado en su totalidad con el arsénico, y el metal libre produce hidrógeno con el ácido clorhídrico. Se comprueba fácilmente la presencia del gas hidrógeno, introduciendo en la campana una disolucion de sulfato de cobre, que absorbe el hidrógeno arsenical.

Este cuerpo constituye un gas incoloro, y de un olor nauseabundo particular. Su densidad es de 2,69: se liquida hácia — 30° bajo la presion ordinaria. Puesto en contacto con un cuerpo en com-

bustion, se inflama al aire y arde con una llama lívida, formando agua y ácido arsenioso; pero se precipita constantemente sobre las paredes de la campana un polvo pardo, debido á una combustion incompleta: este es el arseniuro de hidrógeno sólido.

El calor descompone el hidrógeno arsenical; cuando este gas pasa por un tubo calentado hasta el rojo, el hidrógeno queda libre, y se deposita en la parte calentada del tubo arsénico metálico en forma de un anillo brillante. Este carácter permite reconocer hasta las mas mínimas cantidades de hidrógeno arsenical que se hallen mezcladas con el hidrógeno.

El cloro descompone instantáneamente el gas hidrógeno arsenical; y cada burbuja de este gas que penetre en una campana llena de cloro, se inflama produciendo ácido clorhídrico y cloruro de arsénico.

El hidrógeno arsenical es muy venenoso, y por lo mismo es menester tomar las mayores precauciones para no respirarlo aun en muy corta cantidad.

La composicion de este gas se determina exactamente como la del hidrógeno fosforado (§ 226).

Se halla que 1 volúmen de hidrógeno arsenical encierra

$1\frac{1}{2}$ vol. hidrógeno...............	0,1032
$\frac{1}{2}$ » vapor de arsénico........	2,5910
	2,6942.

Su composicion en equivalentes es AsH^3.

Este gas es poco soluble en el agua. Abandonado en un frasco sobre la cuba de agua durante muchas semanas, se descompone completamente, formando sobre las paredes de la vasija un depósito pardo de arseniuro de hidrógeno sólido, cuya composicion se ignora todavía.

COMBINACION DEL ARSÉNICO CON EL CLORO.

§ 237. Solo se conoce una combinacion del arsénico con el cloro, y se la obtiene haciendo pasar cloro por el arsénico metálico; pudiendo emplearse el aparato que ha servido para preparar los cloruros de azufre y de fósforo, y que hemos representado en la figura 234, página 273. El arsénico se coloca en la retorta tubulada D, que se calienta suavemente para destilar el cloruro de arsénico segun se vaya produciendo.

La afinidad del arsénico con el cloro es muy enérgica. El arsénico en polvo, proyectado en un frasco lleno de gas cloro, se in-

flama produciendo humos blancos y densos de cloruro de arsénico.

Se obtiene igualmente el cloruro de arsénico, destilando en una retorta una mezcla de 1 parte de arsénico metálico y 6 de bicloruro de mercurio. El cloruro de arsénico, preparado por la accion del cloro gaseoso sobre el arsénico, se tiñe de amarillo por el cloro que tiene en disolucion; y para purificarlo, se le agita, mezclado con una pequeña cantidad de arsénico en polvo fino, y despues se le destila segunda vez.

El cloruro de arsénico es un líquido incoloro, que hierve á 132°. La densidad de su vapor se ha hallado igual á 6,3. En contacto del agua se descompone inmediatamente en ácidos arsenioso y clorhídrico:

$$AsCl^3 + 3HO = AsO^3 + 3HCl.$$

Corresponde por consiguiente al ácido arsenioso, y su composicion es la que sigue;

1 eq. arsénico..........	937,5	41,35
3 » cloro.............	1329,6	58,65
1 » cloruro de arsénico.	2267,1	100,0.

1 volúmen de vapor de cloruro de arsénico contiene:

$\frac{1}{4}$ vol. vapor de arsénico..........	2,591
$1\frac{1}{2}$ » cloro..................	3,660
	6,251.

COMBINACIONES DEL ARSÉNICO CON EL AZUFRE.

§ 238. El arsénico y el azufre forman entre sí un gran número de combinaciones, pero indicaremos solamente las tres mas importantes.

Se encuentra en la naturaleza un sulfuro cristalizado que tiene por fórmula AsS^2, y no corresponde á ninguna combinacion conocida del arsénico con el oxígeno. Los mineralogistas le han dado el nombre de *rejalgar*. Puede obtenersele artificialmente fundiendo una mezcla de arsénico y azufre en proporciones convenientes.

El rejalgar es una materia vítrea de un hermoso color rojo anaranjado, que se emplea en la pintura: se funde y se sublima sin alteracion.

La segunda combinacion AsS^3 corresponde al ácido arsenioso: la naturaleza nos la presenta cristalizada, y recibe el nombre de *oropimente*. Este compuesto, ó sea *ácido sulfarsenioso*, puede ser

obtenido fundiendo arsénico y azufre, mezclados en proporciones convenientes. Se le obtiene igualmente haciendo pasar una corriente de ácido sulfhídrico por una disolucion de ácido arsenioso: el ácido sulfarsenioso se precipita entónces formando copos de un amarillo claro.

Por último, la tercera combinacion corresponde al ácido arsénico, tiene por fórmula AsS^5, y lleva el nombre de ácido *sulfarsénico*. Para obtenerla, se vierte una disolucion de ácido sulfhídrico en otra de ácido arsénico: el precipitado no se forma inmediatamente, y con frecuencia no se deposita sino al cabo de muchos dias.

Se prepara mas fácilmente el ácido sulfarsénico, haciendo pasar una corriente de gas ácido sulfhídrico, hasta la saturacion, por una disolucion de arseniato de potasa, $2KO.AsO^5$. Esta sal se convierte así en sulfosal, $2KS.AsS^5$, en que el monosulfuro de potasio hace las veces de base, y el ácido sulfarsénico las de ácido. El sulfarseniato de sulfuro de potasio queda disuelto en el líquido: se le descompone por el ácido clorhídrico, y se desprende ácido sulfhídrico, precipitándose el ácido sulfarsénico en forma de un polvo amarillo.

La reaccion se expresa por la ecuacion siguiente:

$$2KS.AsS^5 + 2HCl = 2KCl + 2HS + AsS^5.$$

ENVENENAMIENTOS CON EL ÁCIDO ARSENIOSO.

§ 239. El envenenamiento con el ácido arsenioso puede ser combatido con eficacia cuando es reciente, pero si el veneno ha tenido tiempo de obrar y de entrar en circulacion, es casi siempre mortal. Ante todo conviene hacer vomitar al enfermo para que arroje la mayor parte de la materia venenosa, que queda aun en el estómago; y se le administra en seguida hidrato de peróxido de hierro, ó mejor, magnesia cáustica en suspension en el agua. Estos oxidos se combinan con el ácido arsenioso, formando arsenitos insolubles y paralizan la accion del veneno.

El hidrato de peróxido de hierro debe prepararse vertiendo carbonato de sosa en una disolucion caliente de una sal de peróxido de hierro, y lavando bien el precipitado.

La magnesia cáustica se obtiene calcinando á fuego lento la magnesia blanca de los farmacéuticos, que es un hidrocarbonato de magnesia. Debe detenerse la calcinacion cuando sea muy ligera la efervescencia que la materia produce con los ácidos; pues si se la

tratase por un fuego demasiado fuerte, seria mas difícil combinarla con el ácido arsenioso.

§ 240. El ácido arsenioso aislado se reconoce fácilmente por los caractéres que le distinguen, y que vamos á exponer con mas extension que lo hemos hecho en el § 234.

Cuando se echa sobre las ascuas un poco de ácido arsenioso, despide un olor á ajos característico.

Si se mezcla con carbon en polvo una pequeña cantidad de la materia pulverizada, se introduce la mezcla en el fondo de un pequeño tubo *ad* cerrado por un extremo (fig. 256), se ponen por encima algunos fragmentos de carbon, y se calienta despues con una lámpara de alcohol, primero la parte del tubo que contiene el carbon, y luego gradualmente desde *b* hasta la extremidad *a* en que se halla la materia sospechosa; el ácido arsenioso será descompuesto por el carbon, y el arsénico metálico se condensará en *c*, delante de la parte calentada del tubo, bajo la forma de un anillo metálico y brillante.

Fig. 256

En este delgado anillo podrán reconocerse todos los caractéres distintivos del arsénico: así, por la accion del calor se sublima pasando de un punto á otro del tubo, y por la combustion en el aire puede trasformársele en ácido arsenioso. Para esto último, se hace una rayita con una lima ó pedernal en el tubo *ad* (fig. 256), mas allá del depósito de arsénico, hácia el punto *b*; se parte el tubo por este punto, separando de este modo la parte anterior *bd*, que se mantiene en una posicion inclinada segun manifiesta la figura 257.

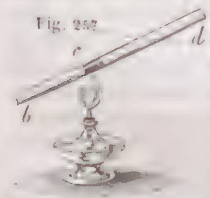


Fig. 257

Se calienta con una lámpara de alcohol el anillo de arsénico, el cual arde en medio de la corriente de aire, y va á depositarse en estado de ácido arsenioso, bajo la forma de un polvo blanco, sobre la parte superior del tubo. Esta pequeña cantidad de ácido arsenioso basta para poner en claro todas las propiedades que le distinguen. Por ejemplo, se la disuelve en una gota de ácido clorhídrico dilatado; se recoge la disolucion en un tubo cerrado por un extremo, y se la trata por otra de ácido sulfhídrico: se forma un precipitado en copos de un color amarillo claro, que son de ácido sulfarsenioso ú oropimente. Este precipitado es insoluble en el ácido clorhídrico, y al contrario se disuelve fácilmente en el amoniaco, dando una disolucion incolora.

El anillo de arsenico, o bien el deposito de ácido arsenioso que ha

producido aquel por la tostion, puede tratarse con un poco de ácido nítrico concentrado: se vierte la disolucion en una pequeña cápsula de porcelana, se evapora el líquido con precaucion hasta la sequedad del residuo, y despues se añade una pequeña cantidad de una disolucion neutra de nitrato de plata, que da un *precipitado rojo de ladrillo* de arseniato de plata. Es esencial que las disoluciones ó licores sean perfectamente neutros, porque el arseniato de plata se disuelve en un exceso de ácido. El arseniato de plata calentado con carbon en un pequeño tubo (fig. 256) dará un anillo brillante de arsénico.

§ 241. Por último, puede trasformarse el ácido arsenioso en hidrógeno arsenical, y comprobar despues las propiedades de este gas. Esta operacion es de suma importancia, y por lo mismo la expondremos circunstanciadamente, pues no solo suministra caractéres preciosos para reconocer el arsénico, sino que permite descomponer fácilmente hasta las mas leves porciones de ácido arsenioso que pudieran existir en masas considerables de líquido.

Supongamos un aparato (fig. 258) que sirva para desprender hidrógeno. Por la boca central del frasco A se ha adaptado un tubo recto *mn* de 8 á 10 milímetros de diámetro interior, que sirve de tubo de seguridad, y al mismo tiempo para introducir sucesivamente los líquidos en el frasco. Por la otra boca entra un tubo encorvado mas estrecho *ab*, adelgazado en su extremidad *b*. Se ponen en el frasco algunos pedazos de zinc en lámina y muy puro, despues se echa cierta cantidad de agua, y finalmente se vierten poco á poco pequeñas porciones de ácido sulfúrico puro, á fin de obtener un desprendimiento de gas hidrógeno. Cuando el aire ha sido expulsado completamente del aparato, se enciende el gas que sale por la extremidad *b*. La llama presenta los caractéres ordinarios del hidrógeno puro en combustion; es poco brillante, y acercando á ella un cuerpo frio, por ejemplo, una cápsula ó un platillo de porcelana, solo se depositan algunas gotitas de agua. Si entónces se introduce por el tubo una disolucion de ácido arsenioso, la llama cambia de aspecto á los pocos instantes; toma un color lívido, y se desprenden humos blancos de ácido arsenioso. Este se ha descompuesto por el contacto del zinc, del agua y del ácido sulfúrico: su oxígeno se ha fijado en el zinc, y el arsénico se ha combinado con una porcion del hidrógeno naciente

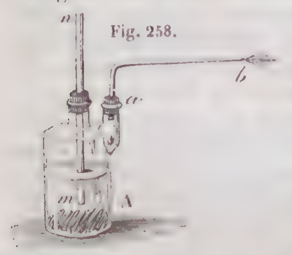


Fig. 258.

formando hidrógeno arsenical. Por consiguiente, el hidrógeno que arde en la extremidad del tubo contiene hidrógeno arsenical, que por la combustion produce humos de ácido arsenioso.

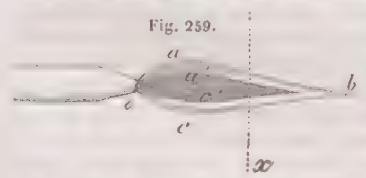
Cuando la proporcion de ácido arsenioso que se ha introducido en el frasco es algo considerable, la alteracion que experimenta la llama es tan marcada que se reconoce inmediatamente la presencia del arsénico. Ademas, introduciendo la extremidad *b* del tubo de desprendimiento *ab* en otro tubo mas ancho abierto por sus extremos, y que se mantenga inclinado, una parte del ácido arsenioso producido por la combustion se deposita sobre las paredes de este tubo, y el anillo formado puede someterse á los diferentes ensayos que acabamos de describir.

Mas si la cantidad de ácido arsenioso ó de ácido arsénico es muy pequeña, la alteracion que experimenta la llama no es bastante aparente, y todo el ácido arsenioso producido por la combustion puede ser arrastrado por la corriente gaseosa. Hay que recurrir entónces á otro carácter, por medio del cual pueden descubrirse y aun aislarse las mas mínimas porciones de arsénico.

El hidrógeno arsenical está formado de dos elementos combustibles en muy diferente grado : el hidrógeno tiene mas afinidad con el oxígeno que el arsénico; resultando de esto que, si el gas arde en una atmósfera que no encierre suficiente oxígeno, el arsénico no podrá oxidarse hasta que todo el hidrógeno se haya quemado; y como por otra parte el hidrógeno arsenical se descompone fácilmente por el calor, se depositará arsénico procedente á la vez de la descomposicion del hidrógeno arsenical por el calor, y de su combustion parcial.

Estas circunstancias se hallan perfectamente realizadas en ciertas partes de la llama que arde á la extremidad del tubo *ab* (fig. 258). Examinando con atencion esta llama, se ve que su aspecto es poco mas ó menos igual al que representa la figura 259. Se compone de una parte interior oscura *a′c′*, y de otra exterior luminosa que la rodea, en la cual la temperatura es muy elevada. El máximo de temperatura se encuentra en la parte aguda de la llama, hácia la extremidad de la porcion oscura interior. Se distinguen fácilmente estas dos partes de la llama y sus dimensiones respectivas, cortándola en diferentes puntos con una lámina de vidrio, y mirando por detras.

Fig. 259.



En la superficie exterior de la cubierta luminosa, la combustion es completa á causa de la presencia del aire en exceso; miéntras que en las capas próximas al espacio interior oscuro, la combustion es incompleta por no encontrarse bastante oxígeno. Por fin, en el espacio oscuro no hay combustion, si bien en ciertas partes, hácia el plano xz, la temperatura es bastante elevada para descomponer el hidrógeno arsenical en hidrógeno y en arsénico. Si se deja tranquila la llama, el arsénico se quemará hácia la extremidad de esta, y se desprenderá despues en estado de ácido arsenioso; pero si se corta en xz, interponiendo un cuerpo frio, un platillo de porcelana por ejemplo, el arsénico metálico se depositará sobre él formando una mancha del color pardo oscuro que le es característico, y dotada de brillo metálico, cuando tenga el espesor necesario. Recibiéndola sucesivamente en diferentes puntos del platillo de porcelana, se conseguirá llenarlo de manchas arsenicales, y se recogerá por este medio una cantidad de arsénico suficiente para reconocer y comprobar todos los caractéres de este cuerpo.

El aparato que acabamos de describir se llama *aparato de Marsh*, del nombre del químico inglés que lo propuso el primero para descubrir la presencia del arsénico en las investigaciones médico-legales.

Es claro que, procediendo segun hemos indicado, solo se condensa una parte del arsénico; pero, si este cuerpo se hallase en muy pequeña cantidad, las manchas no tendrian el espesor suficiente para presentar brillo metálico, quedando entónces pardas y mates; y aun cuando un químico experimentado no pueda abrigar duda ninguna sobre su verdadera naturaleza, mayormente si ha tenido cuidado de someterlas á pruebas bien adecuadas, es de temer que entre manos menos hábiles den lugar á errores, que suelen ser de grave trascendencia.

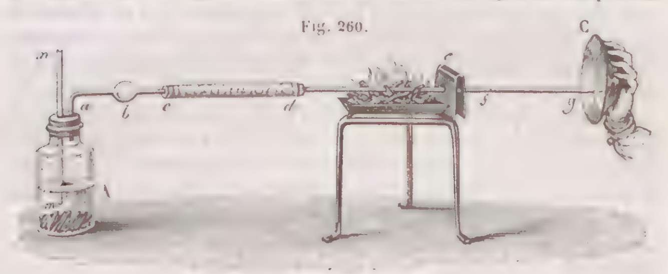
Pueden efectivamente producirse manchas sobre el platillo de porcelana, aun dado caso que el gas no contenga ni señales de arsénico; pero es siempre fácil cerciorarse de si estas manchas son ó no arsenicales, sujetándolas á ensayos químicos competentes. Se obtienen manchas sobre el platillo de porcelana, cuando el líquido del frasco es viscoso, ya por contener mucho sulfato de zinc, ya por hallarse disueltas en él materias orgánicas. Al desprenderse las burbujas de gas proyectan una infinidad de globulillos de líquido, y los mas ligeros pueden ser arrastrados hasta la llama, donde la sal de zinc y las materias orgánicas se descompondrán parcialmente, formando manchas pardas de oxisulfuro de zinc ó solamente de carbon. Puede obviarse este inconveniente, haciendo que el gas

pase por un tubo lleno de algodon ó mejor de amianto, ántes que llegue á la extremidad adelgazada donde se inflama.

Es mas conveniente en todo caso descomponer el hidrógeno arsenical que acompaña al hidrógeno en el aparato de Marsh, haciéndole pasar por un tubo de corto diámetro, que se calienta hasta el rojo en una longitud de 1 decímetro próximamente: el arsénico se deposita en forma de un anillo brillante, cerca de la parte calentada, y delante de ella, reuniéndose de este modo en una superficie muy reducida.

La disposicion mas adecuada que puede darse al aparato es la que representa la figura 260. A es un frasco del que se desprende

Fig. 260.



gas hidrógeno, y que debe ser de cortas dimensiones, si no han de introducirse en él grandes cantidades de líquido; debe sin embargo tener la cabida suficiente para encerrar todo el líquido de prueba y el necesario á la experiencia, dejando ademas un vacío de un quinto poco mas ó menos de su capacidad total. Se introducen en el frasco algunos pedazos de zinc en lámina, y agua; se le cierra despues con un tapon que tiene dos agujeros: por el uno entra el tubo *mn*, de 1 centímetro próximamente de diámetro, que sirve para introducir el líquido, y cuyo extremo inferior viene á quedar un poco mas bajo que el nivel del agua. Por el otro agujero se adapta un tubo encorvado *abc*, con una bola en *b* para condensar la mayor parte del agua arrastrada por el gas. Un tubo de vidrio *cd*, lleno de amianto, retiene las partículas de la disolucion que lleva consigo la corriente gaseosa, y por último un tubo estrecho *dfg*, de unos 3 ó 4 decímetros de longitud, y adelgazado en su extremidad *g*, termina el aparato.

Se principia produciendo un desprendimiento de gas hidrógeno para expulsar el aire del aparato; despues se calienta el tubo *dfg*, en una longitud de 1 decímetro poco mas ó menos, con algunas ascuas que se colocan sobre una rejilla ó bien en un pequeño hor-

nillo de palastro, propio para calentar tubos horizontales. Es conveniente que el tubo sea de vidrio poco fusible ; y en el caso contrario seria menester envolverlo con una lámina delgada de laton, para evitar que se abolle y encorve demasiado por el fuego. Una pantalla *e* preserva de la accion del calor la parte *fg* del tubo. Se enciende el gas en el orificio *g*, y se continúa el desprendimiento de hidrógeno durante algun tiempo, observando si se forma algun depósito en la parte anterior *fg*. Al mismo tiempo se ve si pueden obtenerse manchas sobre un platillo de porcelana, á fin de asegurarse que los reactivos empleados no pueden dar por sí solos manchas arsenicales.

Hecho esto, se introduce el líquido sospechoso, se va añadiendo convenientemente ácido sulfúrico para producir un desprendimiento débil de gas hidrógeno, que debe graduarse de modo que la longitud de la llama no exceda jamas de unos 5 á 6 milímetros. La mayor parte del arsénico se deposita en *f*, á una corta distancia de la pantalla. Pero, como hay casi siempre una pequeña cantidad de hidrógeno arsenical que se sustrae á la descomposicion, y que viene á quemarse en la llama, se tiene cuidado de recoger sobre cápsulas una porcion de su arsénico en forma de manchas, las cuales pueden servir despues para demostrar algunas de las reacciones características de este cuerpo.

Si en el líquido existiera antimonio, se obtendria tambien un anillo metálico y brillante en el tubo *fg* (fig. 260) ; pero este depósito metálico se distinguiria del que produce el arsénico, por su falta de volatilidad y por otros caractéres sobre los cuales nos extenderemos al hablar del antimonio.

§ 242. Los procedimientos que acabamos de describir son de fácil ejecucion, y sirven para reconocer con una seguridad completa las mas pequeñas cantidades de arsénico, siempre que este cuerpo exista en estado de ácido arsenioso, de ácido arsénico y aun de sulfuro ; pues es fácil preventivamente trasformar este último en ácido arsénico por medio del ácido nítrico.

Mas el problema no seria tan sencillo, si se tratara de descubrir la presencia de una ligera cantidad de arsénico en masas considerables de materias orgánicas, como sucede en los casos de envenenamiento. Vamos á describir sucintamente la marcha que en estos debe seguirse :

Si existe aun una parte de los alimentos que se suponen haber producido el envenenamiento, es menester ver si se ha formado en el fondo de los vasos un depósito de ácido arsenioso en polvo blanco, que podrá reconocerse inmediatamente por las reacciones que án-

tes hemos expuesto. Igual investigacion deberá hacerse sobre las materias de los vómitos. Si estas investigaciones son infructuosas, se exprimirán los alimentos ó las materias de los vómitos puestas en un lienzo muy limpio, lavado de antemano con agua destilada; de este modo se obtendrá una parte sólida y otra líquida, que se tratan separadamente para reunirlas en seguida. Se concentra el líquido por evaporacion en una cápsula de porcelana; y como contiene ordinariamente materias orgánicas en disolucion, suele adquirir demasiada viscosidad para que pueda introducirse directamente en el aparato de Marsh, en el cual levantarian mucha espuma, y no seria fácil dirigir convenientemente la operacion. Por otra parte, la presencia de estas materias orgánicas altera notablemente las reacciones propias para dar á conocer el arsénico, y es menester de consiguiente empezar destruyéndolas. Lo mejor es concentrar mucho los líquidos, añadir una cantidad de ácido sulfúrico proporcionada á la de la materia orgánica que se supone existe en la disolucion, y evaporar despues para desalojar el ácido sulfúrico: la materia orgánica se destruye y queda bajo la forma de un carbon esponjoso. Se humedece este carbon con ácido nítrico concentrado, y se calienta de nuevo para arrojar este ácido, que produce vapores rojos abundantes. El arsénico, si acaso existe, se ha trasformado así en ácido arsénico, que se disuelve muy fácilmente en el agua. Tratando el residuo por una pequeña cantidad de agua hirviendo y filtrando despues, resultará, si la carbonizacion ha sido completa, un líquido incoloro ó muy poco coloreado, bastante flúido y propio para someterlo al aparato de Marsh.

Las materias sólidas que han quedado en el lienzo deben tambien carbonizarse con ácido sulfúrico. Para el efecto, se las humedece con cerca de un quinto de su peso de este ácido concentrado, y despues se exponen á la accion del fuego: la materia toma el estado líquido. Se calienta todavía para desalojar el ácido sulfúrico; y el residuo carbonoso, rociado con ácido nítrico, evaporado en seguida y tratado por el agua destilada hirviendo, dará por filtracion un líquido claro y limpio de la misma apariencia que el obtenido por el tratamiento de la parte líquida. Se reúnen los dos líquidos, y se les trata en el aparato de Marsh.

Cuando el ácido arsenioso existe en cantidad considerable en las materias sometidas á la experiencia, puede efectuarse la carbonizacion de estas por el ácido sulfúrico en cápsulas de porcelana, y lo mismo las evaporaciones sucesivas. Mas si la proporcion del veneno es pequeña, es siempre de temer que una porcion notable del ácido arsenioso se desprenda á la alta temperatura que es menester

emplear para expulsar el ácido sulfúrico. Este riesgo es aun mas temible cuando las materias contienen muchos cloruros, pues en tal caso puede formarse cloruro de arsénico, que es muy volátil. Será por tanto mas ventajoso hacer la carbonizacion en una retorta de vidrio provista de un recipiente cuyas paredes se hayan humedecido. Los líquidos destilados se condensan en el recipiente, y puede en seguida averiguarse en ellos la existencia del arsénico.

Las personas hábiles que intervengan como expertos en un caso de envenenamiento, despues de la muerte, deberán hacer todas las investigaciones que acabamos de indicar, sobre las materias sacadas del estómago despues de la autopsía del cadáver y sobre la orina contenida en la vejiga.

Por último, si todavía tuvieran que probar el envenenamiento mucho tiempo despues de la muerte de la víctima, y sobre un cadáver en cierto estado de putrefaccion, deberán operar sobre lo que reste del estómago, sobre las entrañas, tales como el corazon, bazo, hígado, etc., en las que el veneno se fija principalmente. Se carbonizarán tambien por medio del ácido sulfúrico en una retorta de vidrio, despues de haberlas cortado en pequeños pedazos.

Pueden igualmente descomponerse las materias animales poniéndolas en agua despues de bien desmenuzadas y machacadas en un mortero, y haciendo pasar por el líquido una corriente de cloro hasta que se sature de este gas, y la materia orgánica se deposite en forma de copos incoloros. Se tapa en seguida el frasco y se abandona el líquido á sí mismo durante 12 horas. Al cabo de este tiempo debe despedir aun un olor fuerte de cloro. Se le filtra, se concentra en una retorta provista de un recipiente, y se trata luego en el aparato de Marsh la pequeña porcion que ha quedado en la retorta. Se examinará despues, si fuese necesario, el líquido condensado en el recipiente, para ver si contiene arsénico.

Debe ademas tenerse entendido que todos los reactivos químicos empleados en estas operaciones sucesivas han de ser puros, y *reconocidos preventivamente* con la mayor escrupulosidad, á fin de asegurarse que no contienen la mas ligera señal de arsénico. El químico podrá ya tener una entera confianza en el resultado de sus investigaciones, si por otra parte han sido ejecutadas de una manera conveniente.

Pero, como es esencial que los jueces participen tambien de esta confianza, y que no pueda caber duda ninguna sobre el resultado de la experiencia, si esta pusiese en claro la presencia del arsénico, convendrá *exigir* que, en paralelo con las operaciones verdaderas, el químico ejecute otras en un todo semejantes, *en blanco*,

como suelen decir, con los *mismos* reactivos, empleados en *igual* cantidad, y en aparatos *exactamente iguales.* Deberá presentar al tribunal : en primer lugar el tubo *dfg* (fig. 260) del aparato de Marsh á que hubiese sometido el residuo final de todas sus operaciones sobre las materias sospechosas, como tambien las cápsulas en que hubiese tratado de producir manchas ; ademas el tubo análogo del segundo aparato de Marsh, que le sirvió para conocer el resultado de las operaciones ejecutadas *sobre los reactivos solos*, y últimamente las cápsulas en que se propuso obtener manchas arsenicales. La comparacion de estos resultados podrá disipar cuantas dudas quedasen relativas á la presencia del veneno*.

* Véase para mas pormenores el informe dado á la Academia de ciencias sobre la investigacion del arsenico en los casos de envenenamiento. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* tomo XII, p. 1076.

BORO.

Equivalente = 136,15.

§ 243. El boro* existe en la naturaleza combinado con el oxígeno, ó sea en estado de ácido bórico, y este se presenta aislado ó en combinacion con las bases. Para extraer el boro del ácido bórico, se empieza por fundir este ácido aplicándole un calor rojo, en un crisol de platino, para despojarle del agua que contiene; despues se le reduce á polvo fino, que se coloca con potasio ó sodio en un tubo de vidrio bien seco, cerrado por un extremo, y se calienta el todo con carbon. En el instante mismo en que la reaccion se verifica, hay una pequeña detonacion. El potasio se apodera del oxígeno de una parte del ácido bórico, y se convierte en óxido de potasio ó potasa, que se combina con el ácido bórico no descompuesto y forma borato de potasa. Se trata la materia, despues de enfriada, por el agua, que disolverá el borato de potasa, y el boro quedará en el líquido bajo la forma de un polvo blanco muy fino. Se recoge este polvo sobre un pequeño filtro, y se le lava con agua destilada hasta que evaporando una gota de las aguas de locion sobre una lámina de vidrio muy limpia, no deje residuo sensible.

El boro forma un polvo pardo, que no se funde al calor rojo, cuando se le calienta en una corriente de gas hidrógeno, ó de cualquier otro gas que no ejerza accion química sobre él. Calentado en contacto del aire, se enciende y se convierte en ácido bórico, pero es difícil oxidarlo completamente por este medio, pues el ácido bórico se derrite conforme se va formando, y produce una especie de barniz que preserva del contacto del aire el resto del boro no descompuesto.

COMBINACIONES DEL BORO CON EL OXÍGENO.

Acido bórico, (BoO^3) = BoO^3

§ 244. Solo se conoce una combinacion del boro con el oxígeno: el ácido bórico. Este ácido se encuentra en la naturaleza, ya libre, ya en combinacion con la sosa formando una sal que se emplea en las artes y se conoce con el nombre de *borax*.

* El boro ha sido descubierto simultáneamente, en Inglaterra, por Davy, y en Francia por MM. Gay-Lussac y Thenard.

En ciertos parajes de los terrenos volcánicos de la Toscana, se desprenden del seno de la tierra inmensas cantidades de vapor y de gas, que tienen ácido bórico en disolucion, aunque en corta cantidad. Estos vapores y gases saliendo por entre las grietas del terreno en forma de grandes surtidores (*suffioni*) vienen á formar á su alrededor extensas charcas (á que dan el nombre de *lagoni*), del medio de las cuales se ven saltar los chorros de gas y vapor, impeliendo la masa líquida y levantándola en forma de torbellinos blanquiscos que se dispersan en el aire.

Al rededor de estos diversos centros de exhalacion, se han construido, de fábrica tosca, estanques revestidos con greda, en los cuales desembocan espontáneamente dos ó mas de estos pequeños cráteres. Se dirigen las aguas de los manantiales inmediatos al estanque mas elevado A (fig. 261), en el cual permanecen

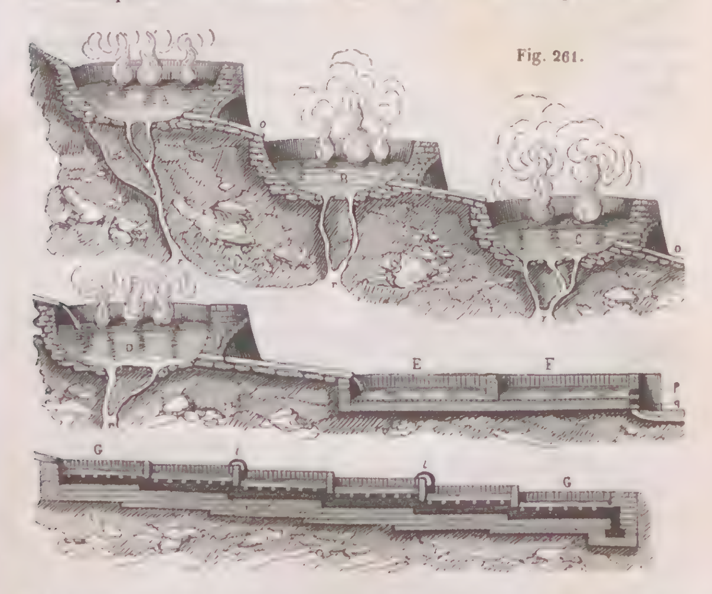


Fig. 261.

24 horas, agitadas continuamente por las corrientes subterráneas de vapor; al cabo de este tiempo se las deja correr al segundo estanque B, en donde quedan durante el mismo espacio, y se cargan de nueva cantidad de ácido bórico. Se continúa pasando sucesivamente la disolucion á los estanques C, D, y reemplazando al

instante el líquido que sale de uno de ellos por el que contiene el inmediato superior.

La disolucion del último estanque D pasa á unos depósitos E y F donde permanece 24 horas, y deposita las materias terrosas que lleva en suspension. Se decanta el líquido que sobrenada, el cual es recibido sucesivamente en unas calderas de plombo GG, dispuestas en escalones, como manifiesta la figura 261; un conducto de fábrica se extiende á lo largo y por debajo de ellas, y es atravesado constantemente por los vapores calientes que se desprenden del terreno, los cuales bastan para dar al líquido una temperatura elevada y efectuar la evaporacion.

La disolucion despues de estacionar 24 horas en la primera caldera, queda reducida á la mitad por la evaporacion; se la pasa á la caldera inmediata inferior, donde permanece aun el mismo tiempo; baja así sucesivamente de caldera en caldera, y cuando llega á la última tiene ya la concentracion necesaria, para que el ácido bórico cristalice por enfriamiento en las cubas ó cristalizadores A (fig. 262) en que se le recibe. Se coloca despues el ácido cristalizado en unos canastos C donde se le deja escurrir, y luego



Fig. 262. Fig. 263.

se le seca en una especie de horno (fig. 263), cuyo suelo está formado de un doble fondo por donde se hace circular vapor.

El ácido bórico así obtenido es bastante impuro, pues contiene todavía de 18 á 25 por 100 de materias extrañas. Se le purifica disolviéndole en el agua hirviendo, y sujetándole á una segunda cristalizacion.

Se prepara á menudo el ácido bórico en los laboratorios por medio del borax, que suele encontrarse muy puro en el comercio. Para el efecto se disuelve 1 parte de borax en 2 ½ de agua hirviendo, y se vierte ácido clorhídrico hasta que el líquido produzca un color

rojo intenso en la tintura de tornasol: por el enfriamiento el ácido bórico cristaliza en láminas delgadas. Se dejan escurrir bien los cristales, y se les lava con un poco de agua. Si se quisiera obtener ácido bórico absolutamente puro, seria necesario disolverlo nuevamente en el agua hirviendo, y cristalizarlo segunda vez.

El ácido bórico cristalizado forma laminitas ó lentejuelas incoloras que contienen 43,6 por 100 de agua de cristalizacion. Sometido á la accion del calor, se derrite primeramente en su agua de cristalizacion; esta se marcha en seguida, y, si la temperatura aumenta hasta el rojo, la materia se funde en un líquido incoloro, que produce por el enfriamiento una masa vítrea de una trasparencia perfecta. El ácido bórico pasa por todos los estados pastosos intermedios entre el de liquidez perfecta y el de completa solidificacion; y, lo mismo que las demas sustancias que poseen esta propiedad, no cristaliza por via de fusion, quedando limpio y trasparente despues de su solidificacion. Pero esta trasparencia no subsiste indefinidamente; y el ácido bórico, aun conservado en tubos herméticamente cerrados, no tarda en volverse opaco: sus moléculas á la temperatura ordinaria tienden á agruparse segun las leyes de cristalizacion que las rigen á esta temperatura, resultando de aquí una multitud de pequeños planos de facetacion, que destruyen pronto su trasparencia. El ácido bórico fundido, expuesto al aire, se cubre con bastante prontitud de una materia pulverulenta, lo cual consiste en que el ácido anhidro absorbe la humedad de la atmósfera y se convierte en ácido hidratado.

100 partes de agua á 10° disuelven 2 de ácido bórico cristalizado, y 8 si la temperatura del agua se eleva á 100°; de suerte que una disolucion, saturada á la ebullicion, dejará precipitar las $\frac{3}{4}$ partes de su ácido, cuando llegue á adquirir la temperatura ordinaria.

La disolucion de ácido bórico tiene un ligero sabor ácido, y enrojece el tornasol, aunque solo como lo hacen los ácidos débiles, produciendo el rojo vinoso; sin embargo el ácido bórico desaloja en frio al ácido carbónico de las combinaciones en que entra este último. Por la via seca, el ácido bórico puede desalojar á los ácidos mas poderosos; y esto por causa de su gran fijeza, pues al calor blanco de nuestros hornos todavia no entra en ebullicion. Pero á esta temperatura la tension de su vapor llega á ser bastante considerable, para que pasado algun tiempo se evapore el ácido completamente. Al calor rojo el ácido bórico descompone los sulfatos expulsando al ácido sulfúrico.

Se ha obtenido la composicion del ácido bórico, determinando experimentalmente el aumento que tiene un peso conocido de boro.

cuando se le calienta en el aire para trasformarlo en ácido bórico. Se ha hallado así:

Oxígeno....................	68,78
Boro........................	31,22
	100,00.

En cuanto á la fórmula que conviene dar al ácido bórico, no será fácil fijarla con las condiciones necesarias. El número de combinaciones definidas que contienen boro es aun muy limitado, y las reglas que hasta ahora hemos aplicado á la determinacion de los equivalentes de los cuerpos simples, son insuficientes tambien en esta circunstancia.

Algunos químicos adoptan para el ácido bórico la fórmula BoO^6, y el equivalente del boro se obtiene en este caso por la proporcion

$$68{,}78 : 31{,}22 :: 600 : x, \quad \text{de donde} \quad x = 272{,}3.$$

Otros admiten la fórmula BoO^3, y el equivalente del boro es dado por la proporcion

$$68{,}78 : 31{,}22 :: 300 : x, \quad \text{de donde} \quad x = 136{,}15.$$

El ácido bórico cristalizado por via de disolucion contiene, segun ántes hemos visto, 43,6 por 100 de agua, y esta cantidad de agua es tal, que su proporcion de oxígeno es igual á la que existe en el ácido anhidro.

La fórmula del ácido bórico cristalizado será:

Segun la primera hipótesis....	$BoO^6 + 6HO$.
Segun la segunda............	$BoO^3 + 3HO$.

COMBINACION DEL BORO CON EL CLORO.

Cloruro de boro, $BoCl^3$.

§ 245. Se obtiene este compuesto, calentando boro en medio de una corriente de cloro, ó mas sencillamente, calentando en un tubo de porcelana una mezcla íntima de ácido bórico y carbon, y haciendo pasar al mismo tiempo por este tubo una corriente de cloro seco.

El cloruro de boro es un gas sin color, que da espesos humos en el aire húmedo. Su densidad es 4,035. Por el contacto del agua se descompone en ácidos clorhídrico y bórico. Su fórmula será pues la del ácido bórico, suponiendo que al oxígeno se susti-

tuya una cantidad equivalente de cloro. 1 volúmen de este gas contiene $1\frac{1}{2}$ volúmen de cloro. En efecto resulta,

	Boro.............	9,375	9,28
$1\frac{1}{2}$ vol.	Cloro............	3,660	90,72
		4,035	100,00.

COMBINACION DEL BORO CON EL FLUOR.

Fluoruro de boro, $BoFl^3$.

§ 246. Se obtiene una combinacion gaseosa del fluor con el boro, cuando se calienta en una pequeña retorta de porcelana, hasta una temperatura elevada, una mezcla de 2 partes de espato fluor y 1 de ácido bórico fundido. Una porcion del ácido bórico se descompone; su oxígeno se combina con el calcio, y la cal producida forma borato de cal con el ácido bórico no descompuesto; en fin, el fluor y el boro se unen entre sí para formar fluoruro de boro. La reaccion se representa por la ecuacion siguiente:

$$2BoO^3 + 3CaFl = BoFl^3 + BoO^3.3CaO.$$

El fluoruro de boro es un gas incoloro, con un olor sofocante y un sabor muy ácido. Su densidad es 2,37; es en extremo soluble en el agua, y tan ávido de este líquido, que carboniza las materias orgánicas, lo mismo que el ácido sulfúrico concentrado (página 206). Esparce humos densos y abundantes en contacto del aire, como es consiguiente en vista de su grande afinidad con el agua.

La composicion del fluoruro de boro corresponde á la del ácido bórico, y su fórmula es $BoFl^3$.

El agua disuelve de 700 á 800 veces su volúmen de fluoruro de boro. Se prepara fácilmente esta disolucion concentrada, como sigue:

Se funden juntamente partes iguales de espato fluor y de borax, se pulveriza la materia, se la calienta con ácido sulfúrico concentrado, en una retorta de vidrio, y sin mas se obtiene por destilacion un líquido ácido, que es una disolucion acuosa muy concentrada de fluoruro de boro. Si esta disolucion se dilata en una cantidad mayor de agua, se descompone, separándose ácido bórico, y formándose un ácido particular que se conoce con el nombre de *ácido hidrofluobórico*. Este es análogo probablemente al ácido hidrofluosilícico, que ha sido mejor estudiado, y daremos pronto á conocer.

SILICIO.

Equivalente = 266,7.

§ 247. El silicio* es uno de los cuerpos mas esparcidos en la naturaleza, y combinado con el oxígeno forma el ácido silícico, sustancia profusamente repartida sobre la superficie del globo.

El ácido silícico, calentado en contacto con potasio, se descompone dando silicio y silicato de potasa; pero la descomposicion se efectúa difícilmente y no se obtiene el silicio puro. Es preferible descomponer por el potasio una combinacion de fluoruro de silicio y fluoruro de potasio, cuya preparacion describiremos mas adelante. Se introducen las dos materias en un tubo de vidrio bien seco, y se calientan con algunas ascuas.

Fluoruro doble de silicio y potasio.	Fluoruro de potasio.		
	Fluoruro de silicio.	Silicio.	
		Fluor.	Fluoruro de potasio.
Potasio.			

$$2KFl.2SiFl^3 + 6K = 9KFl + 2Si.$$

Se trata el producto de esta reaccion por el agua fria, que disuelve el fluoruro de potasio; se recoge el silicio en un pequeño filtro, y se lava el precipitado con agua destilada hasta que las aguas de locion no dejen residuo sensible, evaporándolas sobre una lámina de vidrio.

El silicio es un polvo pardo, que no se funde cuando se le calienta en vasos cerrados, pero haciéndolo en contacto del aire se inflama y se trasforma en ácido silícico.

COMBINACIONES DEL SILICIO CON EL OXÍGENO.

Acido silícico, SiO^3.

§ 248. Solo se conoce una combinacion del silicio con el oxígeno, el ácido silícico, al cual se da tambien el nombre de *sílice*, y es una de las materias mas repartidas sobre la superficie del globo. Aislado ó libre constituye el cristal de roca, el cuarzo, las arenas cuarzosas, las areniscas, etc.; en combinacion con la alúmina, sosa, potasa, cal y óxido de hierro forma un crecido número de minerales muy abundantes; pues son los que entran en la constitucion

* Berzelius ha sido el primero que ha obtenido el silicio en estado de pureza.

de los granitos, de los esquistos, etc., etc.; en una palabra, son silíceas todas las rocas que no sean calcáreas.

El cristal de roca incoloro no es otra cosa que ácido silícico cristalizado y perfectamente puro. La forma general de sus cristales es un prisma regular de 6 caras con apuntamiento piramidal de 6 caras tambien (fig. 58, página 30); perteneciente al tercer sistema cristalino ó sistema romboédrico. El cristal de roca es una materia muy dura que raya al vidrio, y tiene por densidad 2,6.

Las temperaturas mas elevadas de nuestros hornos no bastan para fundirlo, pero lo verifica en un glóbulo vítreo á la llama de una mezcla de oxígeno é hidrógeno.

El cristal de roca puede tratarse por todos los reactivos á la temperatura ordinaria, sin que por ello experimente alteracion alguna; es menester sin embargo exceptuar el ácido fluorhídrico, que le ataca fuertemente, segun pronto hemos de ver. La potasa cáustica le ataca tambien, pero solo á una temperatura elevada.

Puede obtenerse el ácido silícico en estado de disgregacion, ó sea en el de polvo impalpable, y entónces presenta propiedades mas caracterizadas.

Para ello se funden, en un crisol de platino, 1 parte de cuarzo reducido á polvo fino, y 4 partes de carbonato de potasa ó sosa: una porcion del ácido carbónico se marcha, y se forma silicato de potasa. Tratando la materia por el agua, se disuelve completamente cuando ha sido sometida bastante tiempo a la accion de un fuego fuerte. Si se dilata la disolucion con una gran cantidad de agua, y se vierte en seguida ácido clorhídrico hasta que se manifieste una reaccion muy ácida, el ácido silícico será desalojado de su combinacion con la potasa, pero quedará interpuesto en el líquido bajo el estado de una gelatina trasparente, que no se logra separar por filtracion.

Si por el contrario la materia alcalina ha sido disuelta en una corta cantidad de agua caliente, y se echa ácido clorhídrico en el líquido concentrado, el ácido silícico se precipita en forma de copos gelatinosos, que pueden separarse por filtracion.

Con todo, la separacion de la sílice no llega á verificarse completamente, sino despues de haber evaporado hasta sequedad el líquido saturado en exceso por el ácido, y de haber tratado el residuo por el agua hirviendo. La sílice se separa entónces en estado de una materia gelatinosa y consistente, que es retenida en su totalidad por el filtro. Es probable que la sílice se encuentre ahora en el estado de hidrato, pero pierde muy fácilmente su agua, y aparece bajo la forma de un polvo harinoso blanco muy ligero, aunque se pone muy duro despues de calcinado.

El ácido silícico se deposita algunas veces en forma de una gelatina diáfana y consistente, cuando se abandonan á una descomposicion espontánea y lenta ciertas sustancias que le tienen en combinacion. Esta es la causa de que el éter silícico, conservado en frascos mal tapados, pierda su éter, y quede en forma de una gelatina muy trasparente, que adquiere con el tiempo una gran dureza sin perder su trasparencia.

§ 249. La composicion del ácido silícico se deduce del análisis del cloruro de silicio, que pronto describiremos. El cloruro de silicio se descompone por el contacto del agua, en ácidos silícico y clorhídrico. El ácido silícico resulta pues del cloruro de silicio, reemplazando el cloro por una cantidad equivalente de oxígeno; y en consecuencia, haciendo el análisis del cloruro de silicio, podremos deducir inmediatamente la composicion del ácido silícico. Siguiendo para esto el mismo método que hemos indicado (§ 220) para determinar la composicion del ácido fosforoso, hallaremos que el ácido silícico está compuesto de

Silicio.....................	47,06
Oxígeno....................	52,94
	100,00.

Para establecer la fórmula del ácido silícico tropezamos con el mismo inconveniente que para la del ácido bórico. El silicio, como el boro, solo da un número muy reducido de combinaciones definidas.

La mayor parte de los químicos admiten para el ácido silícico la fórmula SiO^3, análoga á la del ácido sulfúrico; y el equivalente del silicio se obtiene entónces por la proporcion

$$52{,}94 : 47{,}06 :: 300 : x,$$

$$\text{de donde} \quad x = 266{,}7.$$

Otros escriben esta fórmula SiO^2; y el equivalente del silicio resulta de la proporcion

$$52{,}94 : 47{,}06 : 200 : x,$$

$$x = 177{,}8.$$

Finalmente, algunos químicos adoptan la fórmula SiO, y el equivalente del silicio es en este caso, 88,9.

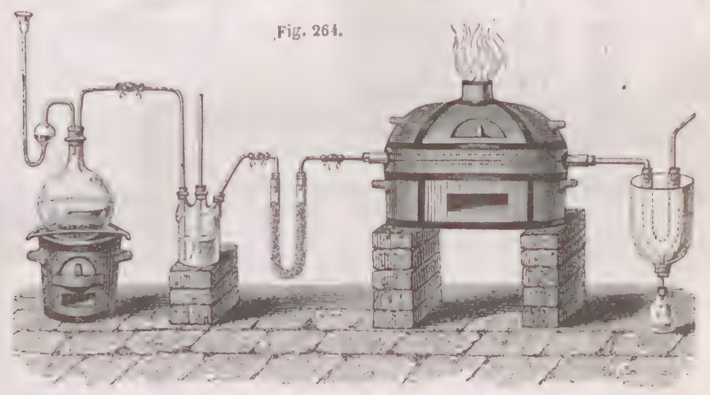
Nosotros adoptaremos la fórmula SiO^3; no porque nos parezca la mas adecuada, sino únicamente por ser hasta el dia la mas generalmente admitida. Asi el equivalente del silicio será 266,7.

COMBINACIONES DEL SILICIO CON EL CLORO.

Cloruro de silicio, $SiCl^3$.

§ 250. Calentando el silicio en medio de una corriente de cloro, se enciende y produce un líquido volátil é incoloro, que es el cloruro de silicio, $SiCl^3$. Puede obtenerse mas fácilmente este cloruro, haciendo pasar cloro por entre una mezcla de sílice y carbon, calentada en un tubo de porcelana (fig. 264). El cloro por sí solo no

Fig. 264.



puede descomponer al ácido silícico desolajando á su oxígeno, aun cuando la temperatura sea de las mas elevadas; pero la descomposicion se verifica fácilmente en presencia del carbon, que se combina con el oxígeno del ácido silícico y forma óxido de carbono: se recoge el cloruro de silicio en un recipiente bien enfriado. El ácido silícico que sirve para esta preparacion debe ser sílice muy dividida, como la que se obtiene descomponiendo por un ácido el silicato de potasa: pues el cuarzo, aun reducido á polvo impalpable, apénas produciria señales de cloruro de silicio.

Lo mejor para este caso es mezclar íntimamente la sílice con un peso de negro de humo igual al suyo, y añadir una cantidad de aceite suficiente para constituir con la mezcla una pasta tenaz, con la cual se forman unas bolitas, que se hacen rodar sobre polvo de carbon, y despues se calcinan en un crisol tapado. De este modo se obtienen pequeñas masas porosas, que se colocan en el tubo de porcelana.

Cuando se quiera obtener una cantidad mayor de cloruro de sili-

cio, se sustituye al tubo de porcelana una retorta tubulada C (fig. 265), de arcilla cocida y 1 litro próximamente de cabida. Por su abertura

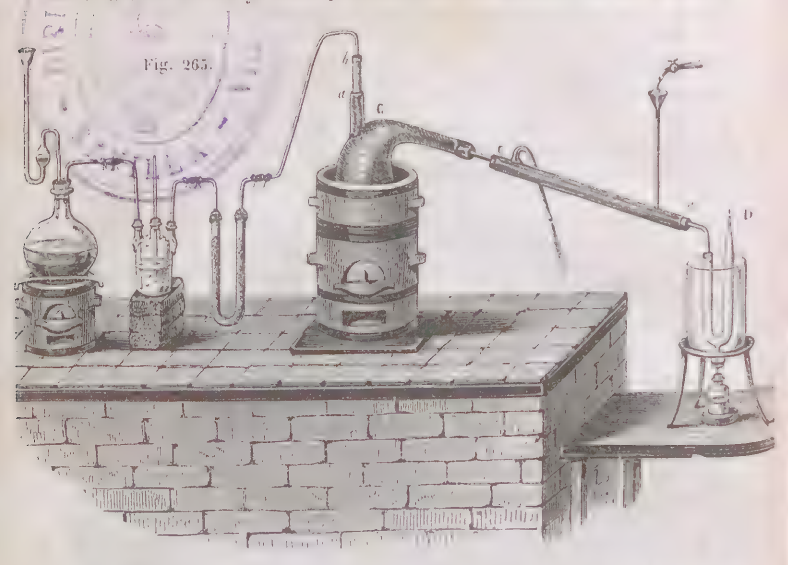


Fig. 265.

superior *a* entra un tubo de porcelana *b*, que baja hasta el fondo de la retorta, y sirve para conducir la corriente de cloro seco. Al cuello de la retorta se adapta una alargadera, que comunica con un tubo D, colocado en una campana tubulada, llena de una mezcla frigorífica. A la parte inferior del tubo en U se ha soldado un tubito recto, que sale por debajo de la campana para introducirse en un pequeño frasco bien seco, que recibe el cloruro de silicio líquido.

El cloruro de silicio tiene un color amarillo, debido á un exceso de cloro que lleva en disolucion, y del cual se le priva agitándole con un poco de mercurio; se le destila en seguida para obtenerlo absolutamente puro.

El cloruro de silicio es un líquido incoloro, muy flúido y con una densidad igual á 1,52; hierve á 59°, y da humos ácidos en el aire.

En contacto del agua, el cloruro de silicio se descompone en ácido clorhídrico y en ácido silícico: corresponde pues al ácido silícico, sustituyendo al oxígeno una cantidad equivalente de cloro. Hemos utilizado esta reaccion para determinar la composicion del ácido silícico por medio del análisis del cloruro de silicio, que ofrece muchas

menos dificultades de las que presenta el análisis directo de aquel ácido. Hallamos así, que el cloruro de silicio está compuesto de

Silicio....................	16,71
Cloro....................	83,29
	100,00;

su fórmula se escribirá, pues,

$SiCl^3$ si se admite SiO^3 para el ácido silícico
$SiCl^2$ » SiO^2 »
$SiCl$ » SiO »

La densidad del vapor de cloruro de silicio se ha encontrado igual á 5,9.

1 volúmen de este cloruro contiene 2 volúmenes de cloro; y en efecto, si al duplo de la densidad del cloro $2 \times 2,44$, se añade la cantidad correspondiente de silicio que resulta de la proporcion

$$83,29 : 16,71 :: 4,88 : x,$$

$$\text{de donde} \quad x = 0,98,$$

se halla

2 vol. cloro....................	4,88
Silicio....................	0,98
	5,86,

que no difiere sensiblemente de la densidad dada por la experiencia para el cloruro de silicio gaseoso.

COMBINACION DEL SILICIO CON EL FLUOR.

Fluoruro de silicio, $SiFl^3$.

§ 251. Se obtiene este compuesto calentando, en un matraz de vidrio, una mezcla íntima de una parte de espato fluor y otra de vidrio molido, con 6 ú 8 partes de ácido sulfúrico muy concentrado (véase fig. 199, página 186). El ácido silícico del vidrio pierde su oxígeno, que oxida al calcio del espato fluor; la cal que resulta se combina con el ácido sulfúrico, y el fluor se une al silicio para formar gas fluoruro de silicio. Si no hacemos intervenir al vidrio mas que por el ácido silícico que contiene, podremos representar la reaccion por la ecuacion siguiente :

$$3CaFl + SiO^3 + 3SO^3 = 3(CaO.SO^3) + SiFl^3.$$

El aparato que sirve para esta operacion debe haber sido desecado con el mayor cuidado, pues el cloruro de silicio se descompone muy fácilmente por el contacto del agua.

El fluoruro de silicio es un gas incoloro, que es necesario recoger sobre el mercurio á causa de su pronta descomposicion por el agua. La densidad de este gas es 3,57. Esparce en contacto del aire humos ácidos muy espesos : su composicion corresponde á la del ácido silícico, y su fórmula será $SiFl^3$.

§ 252. En la descomposicion del fluoruro de silicio por el agua se deposita sílice gelatinosa, y el líquido encierra una combinacion ácida particular, que llamamos *ácido hidrofluosilícico*. La reaccion se verifica entre 3 equivalentes de fluoruro de silicio y 3 de agua; pero de los tres equivalentes de fluoruro de silicio, uno solo se descompone, y produce 3 equivalentes de ácido fluorhídrico, que se combinan con los 2 de fluoruro de silicio no descompuestos, y forman ácido hidrofluosilícico. La reaccion estará representada por la ecuacion siguiente :

$$3SiFl^3 + 3HO = 3HFl.2SiFl^3 + SiO^3.$$

Segun esto, la fórmula del ácido hidrofluosilícico será

$$3HFl.2SiFl^3.$$

Cuando se satura el ácido hidrofluosilícico por una base, el hidrógeno del ácido fluorhídrico es el único cuerpo reemplazado por una cantidad equivalente del metal de la base; y así, suponiendo que esta sea la potasa, se tendrá la reaccion

$$3HFl.2SiFl^3 + 3KO = 3KFl.2SiFl^3 + 3HO.$$

El hidrofluosilicato de potasa es, pues, un fluoruro doble de potasio y silicio que tiene por fórmula

$$3KFl.2SiFl^3.$$

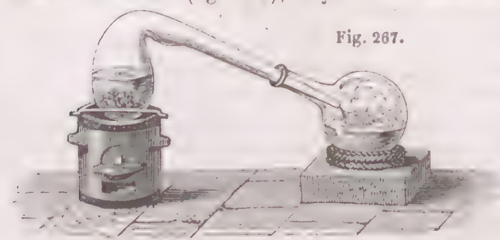
La sílice gelatinosa, que se deposita durante la descomposicion del fluoruro de silicio por el agua, obstruiria prontamente el orificio del tubo que conduce el gas, si la extremidad de este tubo fuese á parar directamente bajo del agua, pudiendo ademas resultar explosion. Por lo mismo debe tenerse cuidado de sumergir dicha extremidad, ántes de echar el agua sobre el mercurio (fig. 266), puesto en una gran copa que sirve de recipiente; pues de este modo el gas no encuentra humedad al salir.



Fig. 266.

y no se descompone hasta despues de haber atravesado el mercurio.

Puede tambien prepararse el fluoruro de silicio empleando una retorta de vidrio (fig. 267), cuyo cuello enchufe en el de un recipiente que contenga agua; pero es menester cuidar de no interponer ningun tapon, á fin de que el recipiente pueda girar con facilidad al rededor del cuello de la retorta, y conservar de este modo sus paredes constantemente humedecidas. El gas fluoruro de silicio, como muy pesado que es, cae sobre la superficie del líquido del recipiente, y se forma una película de sílice gelatinosa, que impediria muy pronto la accion del agua, si no se cuidase de dar vueltas de cuando en cuando al recipiente.


Fig. 267.

Cuando se ha descompuesto una cantidad conveniente de fluoruro de silicio, se filtra el líquido al través de un lienzo, y se exprime bien el residuo. Si se quiere obtener un líquido mas trasparente, es menester filtrarlo por papel sin cola, pero retiene casi siempre un poco de sílice en suspension.

El ácido hidrofluosilícico disuelto forma un líquido muy ácido, que se combina con las bases dando fluoruros dobles, cuya composicion hemos indicado anteriormente. Algunas de estas combinaciones son insolubles, y entre otras la que forma con la potasa. Hemos aprovechado ya esta propiedad del ácido hidrofluosilícico para precipitar la potasa de sus disoluciones (§ 175).

Si se evapora completamente, hasta sequedad, la disolucion del ácido hidrofluosilícico con la sílice gelatinosa que se ha depositado durante su preparacion, toda la materia desaparece, y se desprende agua y fluoruro de silicio. Así, bajo la influencia del calor, obtenemos una reaccion inversa de la que se efectúa en frio entre el fluoruro de silicio y el agua : resulta ahora

$$3HFl.2SiFl^3 + SiO^3 = 3SiFl^3 + 3HO.$$

Si la evaporacion se ejecuta en un vaso de vidrio, este no es atacado y conserva su trasparencia.

Por el contrario, si se evapora en un vaso de vidrio el ácido hidro-

fluosilícico solo, separado por filtracion de la sílice que se hubiese depositado, la materia desaparece todavía por entero; pero las paredes del vidrio son atacadas fuertemente, puesto que han debido ceder el ácido silícico necesario para la trasformacion completa del ácido hidrofluosilícico en fluoruro de silicio.

CARBONO.

Equivalente = 75,00.

§ 253. El carbono se presenta en la naturaleza bajo los aspectos mas diversos. Cristalizado y perfectamente puro constituye el diamante, una de las piedras preciosas mas estimadas en la sociedad. Se encuentra el diamante en los terrenos de aluvion ó de acarreo procedentes de la destruccion de rocas antiguas, cuyos despojos arrastrados por las aguas han venido á formar depósitos superficiales, que cubren las llanuras y valles en capas de una grande extension. Los principales terrenos diamantíferos están situados en la India, en la isla de Borneo y el Brasil. Los diamantes son muy raros entre los detritus de rocas y demas sustancias rodadas en que vienen envueltos; y para encontrarlos es menester lavar grandes masas de arena, y rebuscarlos minuciosamente. El diamante en bruto es ordinariamente escabroso en su superficie y débilmente traslúcido. Algunas veces su forma cristalina es muy limpia y bien determinada; sus cristales pertenecen al sistema cristalino regular, y su forma primitiva es el octaedro regular (fig. 20): por lo general el octaedro se halla modificado por caras secundarias, y el cristal presenta el aspecto de la figura 27, página 17. Las caras cristalinas del diamante, planas muy raras veces, son al contrario mas ó menos convexas, y sus aristas por consiguiente son curvilineas. Esta curvatura de las superficies es mas marcada en los cristales que presentan el aspecto general del octaedro regular, si bien estos cristales en su orígen eran realmente triakisoctaedros (fig. 27); es decir, octaedros cuyas caras se hubiesen reemplazado por pirámides triangulares muy rebajadas. Desgastadas las aristas de estas pirámides y con frecuencia borradas enteramente, por el rozamiento que el cristal ha experimentado durante su trasporte con los cantos rodados y arenas de aluvion, no le queda mas que el aspecto general de un octaedro de caras convexas.

El diamante es por lo regular incoloro, pero presenta algunas veces tintas muy hermosas y variadas. Los colores mas comunes son el amarillo, el pardo ó ahumado, tan oscuro á veces que llega á ser negro; los hay tambien azules, verdes y de color de rosa. La densidad del diamante varía entre 3,50 y 3,55.

El diamante es el cuerpo mas duro que se conoce, pues raya á todos sin excepcion; y sus caras naturales presentan mas dureza que sus caras talladas: propiedad bastante general en los minera-

les. Los vidrieros emplean el diamante para cortar el cristal segun direcciones determinadas: toman generalmente los que son sucios de color, y tienen filo por la reunion de dos superficies curvas naturales, y los montan á la extremidad de un mango, formando como una especie de punto de gramil. Para cortar una lámina de cristal ó de vidrio de dimensiones determinadas, colocan una regla segun la direccion en que el cristal debe ser cortado, y despues pasan el diamante apoyando contra el borde de esta regla. De este modo trazan sobre el cristal una línea muy fina, que le hace frangible en esta direccion, y basta apoyar en falso sobre las dos partes separadas por esta línea, para que la lámina se parta, quedando lisa enteramente la fractura.

El diamante no puede ser tallado sino por medio de su propio polvo. Se empieza por desbastarle, para lo cual se frotan dos diamantes en bruto uno contra el otro, y se recoge con el mayor cuidado el polvo fino que resulta. De esta manera se da al diamante el bosquejo de la forma que debe tener: para acabar de dársela y pulirle, se le fija, recibiéndole con estaño, en un casquillo de cobre que se sostiene con una tenaza de acero. Se le desgasta contra una plataforma de acero dulce, sobre la que se ha esparcido un poco de polvo de diamante y aceite comun; se comunica á esta plataforma horizontal un movimiento de rotacion muy rápido al rededor de su centro, para que el diamante vaya presentando sucesivamente todas las caras que se han de tallar. Los diamantes en bruto y de desecho son molidos en un mortero de acero, y su polvo se emplea para tallar los diamantes escogidos.

El diamante, segun hemos dicho, no es mas que carbono puro cristalizado, y con la esperanza de obtenerlo no han sido pocos los que han intentado realizar la cristalizacion artificial del carbono; pero tales intentos han sido siempre vanos é infructuosos. El carbono es infusible á las temperaturas mas elevadas que podamos producir en nuestros hornos, y en consecuencia no se podrá lograr que cristalice por via de fusion; tampoco será posible conseguirlo por via de disolucion, pues no conocemos ningun disolvente del carbono. Bien es verdad que el hierro colado, cuando se halla líquido á una temperatura muy alta, puede disolver mayor proporcion de carbono que la que retiene á una temperatura baja, y que parte de este carbono se separa por el enfriamiento bajo formas cristalinas; pero estos cristales no son mas que láminas negras, bastante anchas con frecuencia, sin semejanza alguna con el diamante. Este carbon cristalino es el mismo que se conoce con el nombre de *grafito*.

El diamante, colocado entre dos conos de carbon que reúnan los polos de una fuerte pila, adquiere una temperatura excesivamente elevada, acompañada de una luz tan brillante y viva que la vista puede apénas soportar. Si se observa al través de un vidrio ennegrecido por la llama de una bujía, se ve que el diamante se va hinchando y disgregando en varios fragmentos. Por el enfriamiento, la materia cambia completamente de aspecto : toma un color gris metálico, se vuelve friable y se parece en un todo al cok que proviene de las ullas bituminosas. Este experimento prueba al parecer, que una temperatura muy elevada no es favorable á la existencia del carbono en el estado de diamante, y que este no ha debido formarse á una temperatura muy elevada.

§ 254. La naturaleza nos ofrece tambien el carbono en un estado cristalino enteramente distinto del diamante, bajo la forma de laminillas muy delgadas y de un gris metálico. Estas laminillas sumamente ténues en lo general, forman por su agregacion masas brillantes, que se dejan cortar fácilmente con el cuchillo, y pueden escribir ó tiznar el papel derramando sus moléculas con mucha regularidad. Esta es la sustancia que cortada en barritas sirve para hacer los lapiceros, y se conoce en las artes con el nombre de *plombagina ó lapiz-plomo.*

Las materias orgánicas, como hemos dicho repetidas veces, se componen de carbono, hidrógeno y azoe. Cuando se las somete á la accion de un fuego fuerte, el hidrógeno, oxígeno, azoe y una parte del carbono se desprenden en estado de combinaciones volátiles, y queda por residuo una porcion de carbono, que ofrece entónces aspectos muy variados, segun la naturaleza de la materia orgánica. Así, si es leña lo que se calcina, el carbon que resulta es negro, y presenta en su fractura el mismo tejido de la madera que le dió orígen. Si se calcina azucar ó una materia animal, queda un carbon muy ligero, negro, lustroso y con la apariencia de una materia que ha sufrido la fusion. Pero no es el carbon lo que se ha fundido sino la materia orgánica, que empezando á fundirse bajo la primera impresion del calor, se hizo mas y mas pastosa conforme fué adelantando la descomposicion, y ha adquirido la forma esponjosa por el desprendimiento de los gases que la atravesaban.

La ulla ó carbon de piedra, calcinada fuera del contacto del aire, da un carbon que se llama *cok*, y que presenta apariencias muy diversas segun la calidad de la ulla. Las ullas grasas ó bituminosas experimentan un principio de fusion ántes de descomponerse, y dan un carbon esponjoso de un gris metálico y brillante. Las antracitas, que solo pierden una pequeña fraccion de su peso por

la calcinacion, producen un carbon que presenta la forma y muchas veces el aspecto del fragmento de antracita que le ha dado orígen.

Ciertas materias orgánicas, al arder en el aire, solo experimentan una combustion incompleta. Arden con una llama *fuliginosa*, que deposita carbon en forma de un polvo negro sumamente fino. Se obtiene un depósito de esta especie, cuando se expone una lámina de vidrio á la parte superior de la llama de una bujía. Este carbon pulverulento toma en las artes el nombre de *negro de humo*, y se le prepara ordinariamente quemando resinas ó brea. El aparato que se emplea se compone de una cámara cilíndrica de fábrica, en la cual puede moverse verticalmente un cono de palastro con una abertura en su cúspide para servir de chimenea durante la operacion. Las paredes de la cámara se hallan tapizadas con telas bastas, para facilitar el depósito de los copos de negro de humo. Una marmita de hierro colado contiene la resina, y se la calienta en un horno exterior; se inflaman los vapores que se desprenden de esta marmita, y los operarios tienen cuidado de graduar convenientemente la entrada del aire. La combustion incompleta de los vapores combustibles da lugar á la formacion de una cantidad considerable de negro de humo, que se deposita en el interior del cono de palastro y principalmente sobre las paredes de la cámara. Terminada la operacion, se baja el cono de palastro, que tiene un diámetro igual al de la cámara, y de consiguiente al descender va rascando las paredes, y hace caer al suelo todo el negro de humo.

El negro de humo obtenido por este medio se halla siempre mezclado con materias bituminosas, y cuando quiera emplearsele como carbon en los laboratorios, es menester calcinarlo ántes en un crisol, privándole del contacto del aire.

El carbono en sus diversos estados presenta propiedades físicas muy diferentes. Su densidad varía entre límites extendidos: en efecto,

La densidad del diamante es...............	3,50
La del grafito natural.....................	2,20
La del cok pulverizado varía entre....	1,60 y 2,00.

El carbon de madera presenta por causa de su porosidad densidades muy variables: á primera vista parece mas ligero que el agua, pues flota en la superficie de este líquido; pero se echa de ver fácilmente que esta propiedad consiste en que su interior está lleno de poros ó vacíos, en los cuales el agua no puede penetrar, y en efecto, reduciéndole á polvo, se verá que baja al fondo del líquido.

El carbon ordinario es mal conductor del calor: puede encenderse un pedazo por un extremo, y tenerlo cogido con la mano muy cerca de la parte encendida, sin experimentar una sensacion notable de calor. Tambien es muy mal conductor de la electricidad, pero sometiéndole á una fuerte calcinacion, se hace muy buen conductor. Así la brasa apagada, ó el carbon que ha sido incompletamente quemado en nuestras hornillas ordinarias, es bastante buen conductor de la electricidad, y por esto suele empleársele para rodear los piés de los parayos, á fin de facilitar el paso de la corriente eléctrica al depósito comun.

§ 255. Las variedades de carbon que son muy porosas presentan propiedades de absorcion muy notables, de las cuales se ha sacado gran partido en las artes. Si se coge con unas tenazas un pedazo de carbon hecho ascua, se le sumerge despues en una cuba de mercurio á fin de apagarlo fuera del contacto del aire, y sin sacarlo del líquido se le pasa á una campana que contenga gas, este es absorbido en cierta proporcion, que varía considerablemente segun la naturaleza del gas y la del carbon. Una medida de carbon de boj absorbe 35 medidas de gas ácido carbónico, y 90 de gas amoniacal.

Si se introduce en una campana llena de gas oxígeno un carbon poroso que haya estado mucho tiempo expuesto á una atmósfera de hidrógeno sulfurado, condensando por consiguiente una gran cantidad de este gas, el carbon se calienta, se separa azufre, y hay formacion de agua y ácido sulfuroso. Algunas veces la combustion se verifica tan de repente que se produce una explosion. Iguales fenómenos se manifiestan con otros gases combustibles.

El carbon absorbe tambien las materias colorantes en disolucion. Cuando se agita, durante algunos minutos, vino tinto en union con ciertas variedades de carbon poroso, reducido á polvo, pierde completamente su color, y pasa incoloro cuando se le filtra. El carbon absorbe igualmente muchas sustancias que dan olor; y así las aguas corrompidas que exhalan un olor fétido, lo pierden cuando se las pone en contacto con carbon. Por causa de esta propiedad se tiene cuidado en las embarcaciones de carbonizar ligeramente las paredes interiores de las barricas en que se conserva el agua dulce.

El poder absorbente del carbon varía mucho segun las diversas especies de este cuerpo. En el grafito y carbon de piedra este poder es nulo, y al contrario en el carbon de madera es bastante considerable, y tanto mayor cuanto mas numerosos sean sus poros. Pero el carbon que presenta la facultad de absorcion en grado mas eminente es el que proviene de la calcinacion de los huesos. Calcinando estos en vasos cerrados, se carboniza la materia animal que contienen, y

resulta un carbon sumamente poroso, mezclado con la materia terrosa de los huesos. Este carbon se llama en las artes, *carbon animal* ó *negro animal*. Se calcinan los huesos en grandes cilindros de hierro colado, colocados horizontalmente en un horno, y con un tubo en sus extremos para ponerlos en comunicacion con aparatos refrigerantes en que se condensan productos amoniacales, que se utilizan despues. Cuando la calcinacion es completa, se saca el carbon, se le apaga en un vaso cilíndrico de hierro con su tapadera, que se llama *sofocador*, y se le reduce á polvo mas ó menos fino en molinos á propósito.

§ 256. El carbono arde en el aire convirtiéndose en un gas que es el ácido carbónico. Su combustion en el oxígeno es mucho mas viva. Se fija á la extremidad de un alambre de hierro un pedazo de carbon, se le enciende por medio de la lámpara de alcohol, dirigiendo la llama con un soplete, y se le sumerge rápidamente en un frasco lleno de oxígeno, en el cual continuará ardiendo con una luz de un brillo extraordinario. Se reconoce fácilmente que se ha formado por la combustion un gas ácido, pues vertiendo en el frasco una pequeña cantidad de tintura azul de tornasol, esta se enrojece. Echando ademas en el mismo frasco agua de cal, el líquido se pone lechoso, dando un precipitado de carbonato de cal. Las diversas especies de carbon son tanto menos combustibles cuanto mas densas sean. Así el carbon de madera arde en el aire; el cok compacto, principalmente el que resulta de la antracita, no arde sino por una corriente de aire muy rápida, como la producida con un fuelle; el grafito y el diamante, calentados hasta ponerlos candentes, no siguen ardiendo en el aire, pero la combustion continúa en el oxígeno. Se fija un pequeño diamante al extremo de un tubito de porcelana ó de barro, sujeto con un alambre de hierro encorvado; se calienta fuertemente el diamante al soplete (lo mejor es emplear el soplete de gas oxígeno), y cuando se halla bien encendido, se le sumerge rápidamente en un frasco lleno de gas oxígeno, donde seguirá ardiendo hasta haberse consumido enteramente. Es fácil echar de ver por medio del agua de cal, que se ha formado ácido carbónico, como en la combustion del carbon ordinario.

El carbon tiene una grande afinidad con el oxígeno, y ademas es completamente fijo: estas propiedades hacen de él un cuerpo *reductivo* muy precioso, por apoderarse del oxígeno de la mayor parte todos los demas cuerpos; y se le emplea casi exclusivamente en las artes metalúrgicas para *reducir* los óxidos metálicos.

COMBINACIONES DEL CARBONO CON EL OXÍGENO.

§ 257. El carbono forma con el oxígeno muchas combinaciones, pero solo estudiaremos las tres mas importantes.

1° El ácido carbónico...... CO^2.
2° El óxido de carbono.... CO
3° El ácido oxálico........ C^2O^3.

Las dos primeras son gaseosas á la temperatura ordinaria; la tercera no ha sido obtenida aislada, y no se conoce sino en combinacion con el agua ó con las bases.

Acido carbónico, CO^2.

§ 258. Cuando el carbon arde libremente en el aire ó en el oxígeno se convierte en ácido carbónico; pero el procedimiento mas sencillo para obtener este ácido, y en cantidad tan grande como se quiera, consiste en atacar por un ácido fuerte el carbonato de cal, que se encuentra profusamente repartido por todo el globo. Nuestra piedra caliza ordinaria, la creta, el mármol, las conchas ó cubiertas de los testáceos son formadas esencialmente de carbonato de cal. El mármol estatuario es un carbonato de cal muy puro.

Para preparar el ácido carbónico, se ponen fragmentos de mármol en un frasco A bitubulado (fig. 268), y se vierte por encima una cierta cantidad de agua: se agita el frasco durante algunos instantes, para hacer que salgan las burbujas de aire adheridas á los fragmentos de mármol. A una de las bocas *a* del frasco se adapta un tubo encorvado propio para recoger el gas, y á la otra *b* se fija un tubo recto mas ancho y con embudo, introduciéndolo hasta muy cerca del fondo. Por este último tubo se vierte ácido clorhidrico. Tan luego como este toca el mármol, se manifiesta una efervescencia muy viva, producida por el desprendimiento del ácido carbónico.

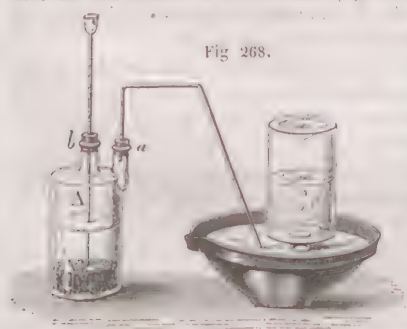


Fig. 268.

La reaccion se representa por la ecuacion siguiente:

$$CaO.CO^2 + HCl = CaCl + HO + CO^2.$$

Se forman ácido carbónico, que se desprende en estado de gas y puede recogerse sobre el agua ó el mercurio, cloruro de calcio que se disuelve en el agua del frasco, y por último agua, que queda mezclada con la que contenia el frasco. Es necesario dejar que se pierda una porcion bastante considerable de gas, ántes de recogerlo, si se quiere obtener ácido carbónico puro, pues el gas que se desprende incesantemente irá desalojando al aire contenido en la parte superior del aparato, y al que se encierra en los intersticios del carbonato de cal. El gas ácido carbónico será puro siempre que sea absorbido completamente por una disolucion de potasa. Se va añadiendo ácido clorhídrico en pequeñas porciones, por el tubo con embudo, y se aguarda cada vez que se echa á que se debilite la efervescencia producida por la porcion anterior.

Puede sustituirse al ácido clorhídrico el sulfúrico; y en este caso se expresará la reaccion por la fórmula siguiente:

$$CaO.CO^2 + SO^3 = CO^2 + CaO.SO^3.$$

Se formarán segun esto ácido carbónico y sulfato de cal. Este sulfato es muy poco soluble en el agua, y la mayor parte se precipita en forma de laminitas cristalinas muy ténues, que no tardan en impedir el contacto del ácido sulfúrico con los fragmentos de mármol, estorbando de esta manera la reaccion. No ocurre semejante inconveniente cuando se usa el ácido clorhídrico, pues siendo el cloruro de calcio muy soluble en el agua, deja los fragmentos de mármol expuestos libremente á la accion del ácido.

§ 259. El ácido carbónico es un gas incoloro, casi sin olor, y con un ligero sabor agrio. Su densidad es mayor que la del aire; á 0° y bajo la presion de $0^{m},760$ es de 1,529. Un litro de gas pesa en las mismas circunstancias $1^{gr},977$.

El gas ácido carbónico se liquida bajo una presion de 36 atmósferas, cuando se halla á la temperatura de 0°. A la de −10°, es suficiente una presion de 27 atmósferas; y á la de −30°, que se obtiene fácilmente por medio de una mezcla de hielo y cloruro de calcio cristalizado, basta una presion de 18 atmósferas. Cuando su temperatura es superior á la del hielo en fusion, es menester una presion mas considerable; y así, á la temperatura de +30°, el ácido carbónico no se liquida sino bajo una presion de 73 atmósferas.

El ácido carbónico líquido es incoloro, muy movible y notable por su gran dilatabilidad, pues su coeficiente de dilatacion, que varía mucho con la temperatura, es mayor que el del aire atmosfé-

rico; y el de este excede en mucho á los de todos los líquidos que podemos examinar á la temperatura ordinaria.

La densidad del ácido carbónico líquido, referida á la del agua á 0°, es de 0,98 á —8°, y de 0,72 á +27°.

El ácido carbónico líquido se solidifica hacia —70°, formando una masa vítrea, limpia y trasparente.

Este ácido es bastante soluble en el agua, que disuelve un volúmen igual al suyo á la temperatura ordinaria. Esta solubilidad no es sin embargo tan grande que impida recoger el gas sobre el agua en los experimentos ordinarios, pero cuando estos exijan cierta precision, es preferible recogerlo sobre el mercurio.

La cantidad de ácido carbónico que se disuelve en el agua, á temperatura igual, aumenta con la presion á que el gas está sometido. Se ha observado que un *mismo volúmen* de agua disuelve sensiblemente el *mismo volúmen* de gas ácido carbónico, cualquiera que sea la densidad del gas, ó en otros términos, cualquiera que sea la presion á que se halle sometido. Así, 1 litro de agua disuelve 1 litro de ácido carbónico, bajo las presiones de 1, 2, 3..... 10 atmósferas; pero, como las densidades del gas guardan en este caso las relaciones de 1 : 2 : 3 :..... 10 con corta diferencia, los pesos de ácido carbónico disuelto serán entre sí como 1 : 2 : 3 :..... 10.

La disolucion de ácido carbónico enrojece la tintura azul de tornasol, pero solamente como lo hacen los ácidos débiles, esto es, no produciendo mas que el color rojo vinoso.

El ácido carbónico no alimenta la combustion de los cuerpos: una cerilla encendida se apaga en cuanto se la sumerge en este gas. Tampoco sirve para la respiracion: un animal muere prontamente por asfixia, introducido que sea en una atmósfera de ácido carbónico.

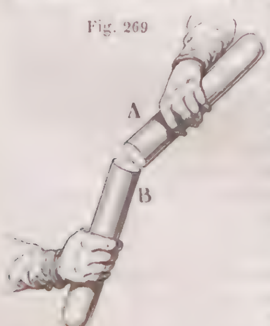


Fig. 269

Este gas no ejerce sin embargo accion deletérea sobre los órganos; porque puede existir en proporciones bastante considerables en el aire, sin que los animales sean molestados gravemente, miéntras encuentren la cantidad de oxígeno suficiente para la respiracion.

Teniendo el ácido carbónico una densidad mucho mayor que la del aire, puede verterse como un líquido de una campana en otra, siempre que el aire ambiente no esté muy agitado. Para esto se toman dos campanas A y B (fig. 269), tan iguales como sea posible; se llena la campana A

de gas ácido carbónico sobre una cuba de agua, se tapa su boca con la mano y se la saca del agua. Otra persona presenta la campana B llena de aire, y se echa en esta el ácido carbónico de la campana A, como manifiesta la figura. Se reconoce despues que la trasvasacion ha sido completa, por medio de una cerilla encendida que, si se introduce en la campana A, continuará ardiendo, y se apagará en la campana B.

El ácido carbónico se forma en un gran número de circunstancias: es el producto constante de la combustion, y resulta en gran cantidad de la respiracion de los animales; todas las materias orgánicas, abandonadas á sí mismas en el aire húmedo, se destruyen por la fermentacion, y se desprende en abundancia ácido carbónico. En fin, los volcanes en actividad lanzan constantemente á la atmósfera torrentes de ácido carbónico. Este gas se desprende aun por entre las grietas del terreno, en muchas localidades donde no existen erupciones ígneas, pero que han sido atormentadas antiguamente por convulsiones volcánicas. Las aguas de los manantiales en estos diversos sitios contienen ácido carbónico en disolucion, y brotan con efervescencia en su nacimiento. Se las llama *aguas gaseosas*.

En el dia se hacen aguas gaseosas artificiales, y para ello no hay mas que saturar el agua ordinaria de gas ácido carbónico bajo una fuerte presion, y ponerla al instante en cántaros ó en botellas, que se tapan herméticamente á fin de que no se marche el gas.

Si el agua ha sido saturada bajo la presion de 10 atmósferas, contendrá una cantidad de ácido carbónico diez veces mayor de la que tendria saturándola bajo la presion ordinaria ó de una sola atmósfera. Por consiguiente, una porcion considerable del gas disuelto se desprenderá, cuando se eche agua gaseosa en un vaso. Si esta se deja expuesta libremente al aire, no tardará en perder todo su ácido carbónico, pasando al estado de agua ordinaria. Esta circunstancia es una consecuencia natural de la ley sobre la disolucion de los gases en el agua, ley que hemos explicado con detencion (§ 86). Hemos visto que el agua disolvia un volúmen sensiblemente igual al suyo de gas ácido carbónico, teniendo el gas disuelto la misma densidad que el ácido carbónico de la atmósfera que comprime la disolucion. Ahora bien, cuando esta queda expuesta al aire libre, la densidad del ácido carbónico que forma parte de la atmósfera que oprime al líquido, es sumamente pequeña, y por decirlo asi nula; luego el ácido carbónico de la disolucion se desprenderá hasta que tenga una densidad igual, es decir, se desprenderá casi completamente.

Si se echa agua gaseosa en una copa, se ve que las burbujas de gas se separan de las paredes, y principalmente del fondo, cuando

este es un poco áspero. Si se proyecta en el líquido un cuerpo que presente muchas irregularidades en su superficie, tal como un pedazo de pan, se produce una efervescencia muy viva á su alrededor. La razon de este fenómeno es la siguiente: cada molécula de ácido carbónico en disolucion es retenida por las moléculas próximas de agua, que en el interior del líquido, ó todavía á una distancia sensible de las paredes, están dispuestas uniformemente al rededor de ella. Pero, inmediatamente en contacto con la pared, la molécula de ácido no es retenida en disolucion, sino por las moléculas acuosas que se hallan á un lado, y por la superficie de la pared del vaso en el lado opuesto. Por otra parte, se concibe que esta pared no puede retener la molécula de ácido carbónico con tanta fuerza como lo harian las partículas de agua cuyo sitio ocupa. Las moléculas de ácido carbónico colocadas contra la pared, serán por consiguiente las primeras que tomarán la forma gaseosa. Mas si cierto número de estas se han reunido para formar una pequeña burbuja gaseosa, esta se agrandará necesariamente al atravesar el líquido, apoderándose de las moléculas de ácido carbónico que va encontrando á su paso; pues si concebimos por un momento que la burbuja de gas se detenga en un punto cualquiera de su tránsito, es claro que las moléculas de ácido carbónico disuelto, que se hallan en contacto inmediato con la pared de la burbuja, no estando retenidas sino por la mitad de las partículas de agua que retienen las moléculas del ácido en las demas partes del líquido, deberán desprenderse con mucha mas facilidad que estas últimas.

En los parajes en que el gas ácido carbónico se desprende abundantemente por las grietas del terreno, sucede con frecuencia que se va acumulando en los puntos en que se ha deprimido el suelo, en las excavaciones naturales y en las grutas y cuevas donde el aire no se renueva fácilmente; forma de este modo en la superficie del terreno una capa invisible, de un espesor variable, en la cual perecen los animales que entran, y se detienen en ella demasiado tiempo. La famosa gruta llamada del *Perro*, en las inmediaciones de Nápoles, presenta un fenomeno de esta naturaleza. Los hombres pueden pasearse por ella sin riesgo ninguno, al paso que un perro, que lleva su cabeza mucho mas cerca del suelo, muere prontamente asfixiado.

§ 260. De algunos años á esta parte se ha empleado el ácido carbónico líquido para producir enfriamientos considerables, que han servido para liquidar y aun solidificar muchas sustancias gaseosas. Mas ha sido preciso imaginar con este objeto procedimientos por los cuales pudieran obtenerse grandes cantidades de ácido carbonico líquido.

El aparato que se emplea para este uso se halla compuesto de dos partes :

1° El *generador,* en el que se produce el ácido carbónico líquido ;

2° El *recipiente,* al cual se hace pasar el ácido carbónico por destilacion, separándole de los otros productos de la reaccion; y ademas sirve para acumular y condensar en él las porciones de ácido que van resultando de las varias operaciones sucesivas.

El ácido carbónico líquido se obtiene descomponiendo en el generador el bicarbonato de sosa, mediante la accion del ácido sulfúrico. Las primeras partes de ácido carbónico desprendidas toman el estado gaseoso; pero la presion llega muy pronto á ser bastante considerable para que el ácido carbónico se liquide.

El generador es un vaso herméticamente cerrado, y se reducia en un principio á un cilindro de hierro colado muy resistente. Pero es peligroso el empleo de este metal para las piezas de los aparatos de este género que han de soportar presiones tan considerables : un accidente terrible, producido por la explosion de uno de estos cilindros, ha hecho proscribir su uso.

El generador, tal como se le construye en el dia, es una caldera cilíndrica de plomo (fig. 270), cubierta de cobre rojo y reforzada

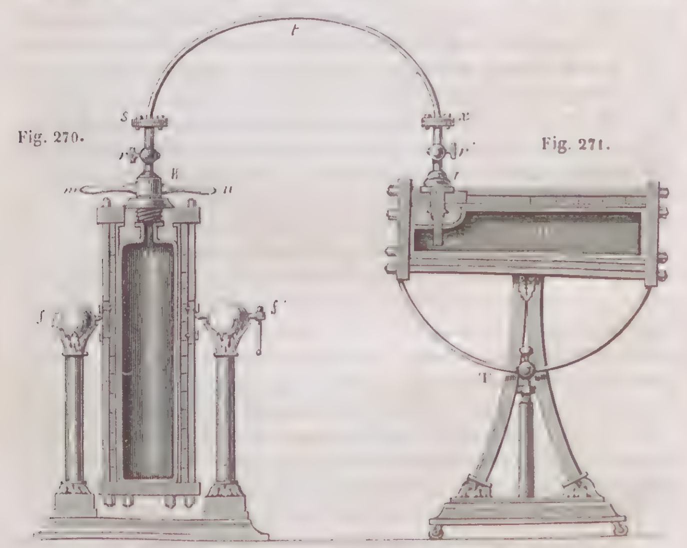


Fig. 270. Fig. 271.

con cinchos y barras de hierro forjado. Su capacidad es de 6 á 7 litros.

El cilindro de cobre que rodea al vaso de plomo, se aplica exactamente sobre este último en todas sus partes, y sus dos fondos se hallan reforzados con dos chapas de hierro, unidas entre sí por barras del mismo metal.

El generador está suspendido entre dos ejes que terminan en punta f y f', y descansan sobre dos columnas de hierro colado.

La construccion del recipiente (fig. 271) es análoga á la del generador.

La abertura O del generador se halla cerrada por un tapon con rosca k, que tiene un taladro en el sentido de su eje, y lleva ademas su llave r. Se le da movimiento por medio de un doble manubrio mn, que puede comprimir fuertemente una rodaja gruesa de plomo contra la parte superior del generador, cerrando así herméticamente la abertura.

El recipiente B tiene una abertura i sobre su arista superior, por la cual se introduce un tubo de cobre, que baja hasta muy cerca del fondo del recipiente, y lleva exteriormente su llave r'.

Puede establecerse la comunicacion entre el recipiente y el generador, por medio de un tubo de cobre stx, que se ajusta con tuercas y tornillos sobre los orificios s y x, cubriendo las junturas con minio.

Para preparar el ácido carbónico líquido, se empieza por quitar el tapon k, y despues se introducen en el generador 1800 gramos de bicarbonato de sosa, $4\frac{1}{2}$ litros de agua á 35 ó 40°, y un vaso cilíndrico uv (fig. 272) de cobre, que contenga 1000 gramos de ácido sulfúrico concentrado. Este cilindro se coloca en direccion del eje del generador, y miéntras se mantenga en la posicion vertical, no se establece el contacto del ácido sulfúrico con el bicarbonato de sosa.

u

v

Fig. 272.

Se fija en su sitio el tapon k, hallándose cerrada la llave r. Imprimiendo al generador un movimiento oscilatorio hasta que pase de la posicion horizontal, el ácido sulfúrico contenido en el vaso de cobre se derrama sobre el bicarbonato de sosa, y la reaccion comienza al instante. La mezcla de las materias se efectúa completamente despues de un cierto número de oscilaciones.

Al cabo de unos diez minutos puede trasvasarse el ácido carbónico del generador al recipiente. Para el efecto, se establece la comunicacion entre estos dos vasos por medio del tubo stx, se abren las llaves r y r': el ácido carbónico contenido en el generador destila inmediatamente, y pasa al recipiente, donde se condensa de nuevo.

Esta destilacion se verifica en virtud de la diferencia de temperatura que existe entre el generador y el recipiente. La temperatura del generador es superior á 30°, de suerte que el ácido carbónico deberá poseer una tension de 75 atmósferas poco mas ó menos. Si el recipiente se hallase á la temperatura de 15°, que supondremos ser la del laboratorio, la tension máxima del ácido carbónico no seria mas que de 50 atmósferas, que es la que le corresponde á esta temperatura; la destilacion deberá por consecuencia tener lugar en virtud de la diferencia 75—50=25 atmósferas, es decir que será extremadamente rápida. Basta en efecto menos de un minuto para que pase el ácido carbónico del generador al recipiente.

Se procede luego á una segunda preparacion de ácido carbónico, y se le pasa como ántes al recipiente. Se repite la misma operacion cinco ó seis veces, y se logra de este modo acumular en el recipiente unos 2 litros de ácido carbónico líquido.

El recipiente queda lleno entónces hasta los dos tercios de su capacidad de ácido carbónico líquido, con una atmósfera gaseosa, que ejerce sobre él una presion de 50 atmósferas, si la temperatura del laboratorio es de 15°. Es claro que, abriendo la llave r' del recipiente, el ácido carbónico se precipitará con fuerza fuera del vaso; y, si este líquido sale al aire exterior, tomará inmediatamente el estado gaseoso, formando una nube blanca sobre su paso, y produciendo en su corriente un frio de los mas intensos. Si se recibe el chorro de ácido carbónico líquido en un frasco, ó mejor en una caja metálica de paredes muy delgadas, una gran parte del ácido se volatilizará, robando el calor necesario para su cambio de estado á las paredes del vaso y á la porcion que se conserva líquida; la temperatura bajará considerablemente, llegando á ser inferior á —70°: el ácido carbónico tomará el estado sólido, condensándose en forma de copos blancos y esponjosos como la nieve.

El ácido carbónico puede conservarse bajo esta forma *niviforme* mucho mas tiempo que en el estado líquido, pues su evaporacion es muy lenta por causa de la mala conductibilidad de la materia: un termómetro de aire rodeado de esta nieve de ácido carbónico que se evapore al aire libre, desciende á —79°. Pueden tenerse en la mano algunos copos de ácido carbónico niviforme, sin que se experimente una sensacion muy fuerte de frio, pues el ácido sólido se halla aislado constantemente de la mano por una corriente de ácido gaseoso que se desprende sin cesar, é impide el contacto; pero si se comprimen estos copos entre los dedos, producen una sensacion dolorosa, desorganizando la piel como lo haria una quemadura verdadera.

Las figuras 273 y 274 representan la caja metálica que ordinariamente se emplea para recoger el ácido carbónico sólido. Se compone de dos partes *abcd*, *a'b'c'd'* (fig. 273), que pueden unirse ó separarse fácilmente. La parte *abcd* tiene una abertura lateral *t* por la que se introduce un pequeño tubo *u*, de la forma que manifiesta la figura 275, y fijo de antemano sobre la pieza *x* del recipiente (fig. 274). Abriendo la llave *r'*, el chorro de ácido carbónico líquido penetra en la caja, lamiendo sus paredes interiores, y haciendo mover una lengüeta *m* que puede recibir un movimiento giratorio: parte del ácido líquido se reduce á gas, el cual despues de dar vueltas en la caja se escapa por los tubos ó chimeneas centrales *cd*, *c'd'*; el resto se solidifica en forma de nieve, que se saca abriendo la caja. Los tubos centrales *cd* y *c'd'* son dobles, y están cubiertos de paño, para poder asirlos y tenerlos con la mano sin sentir un frio excesivo.

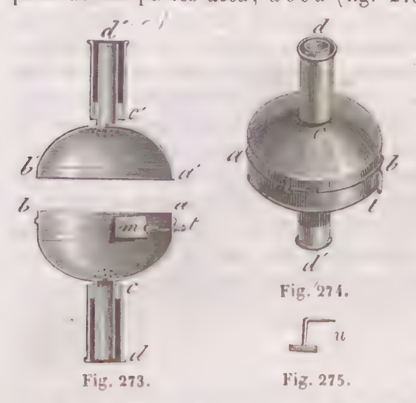


Fig. 273. Fig. 274. Fig. 275.

Si se mezcla con ácido carbónico niviforme un líquido que no se combine químicamente con él, y que se congele á una temperatura muy baja, la evaporacion del ácido se verifica con mucha rapidez, porque el líquido interpuesto aumenta considerablemente la conductibilidad, y produce una mezcla frigorífica muy enérgica, que enfría rápidamente los cuerpos que se sumergen en ella, sin que no obstante su temperatura llegue á ser notablemente inferior á la del ácido carbónico solo. Si esta mezcla se coloca bajo del recipiente de la máquina neumática, y se favorece la evaporacion haciendo el vacío, la temperatura disminuye hasta —100°.

Ordinariamente es el éter, el líquido que suele mezclarse con el ácido carbónico niviforme. Por medio de esta pasta frigorífica de ácido carbónico y éter puede congelarse 1 kilógramo de mercurio en algunos minutos; y sumergiendo en dicha pasta un tubo herméticamente cerrado que contenga ácido carbónico líquido, este se congela formando una masa vítrea de una trasparencia perfecta.

§ 261. Es fácil determinar aproximadamente la composicion del ácido carbónico por el experimento que sigue: se llena de oxígeno,

sobre una cuba de mercurio, un globo de vidrio de un litro de capacidad, y se le coloca despues en la posicion que manifiesta la figura 276. Se introduçe en este globo un pequeño fragmento de carbon, fijo á la extremidad de un alambre grueso de platino; despues, por medio de una lente fuerte ó de un espejo ustorio, se concentran los rayos solares sobre el carbon, el cual se enciende y se convierte en ácido carbónico. Terminada la combustion, se espera á que el gas vuelva á tomar la temperatura primitiva, y se observa entónces que su volúmen no ha variado sensiblemente. De aquí se infiere que el gas ácido carbónico encierra un volúmen de gas oxígeno igual al suyo.

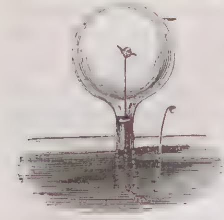


Fig. 276.

Ahora bien,	1 vol. de gas ácido carbónico pesa......		1,5290
	1	» oxígeno..................	1,1056.

Luego el peso 1,5290 de ácido carbónico deberá contener 1,1056 de oxígeno, y 0,4234 de carbono; lo cual dará para la composicion del ácido carbónico:

Carbono....................	27,68
Oxígeno....................	72,32
	100,00.

Pero esta composicion es solo aproximada.

La composicion del ácido carbónico se ha determinado con muchísima exactitud por el procedimiento siguiente:

Se toma un peso *p* de carbono muy puro, de diamante por ejemplo; se le coloca en una pequeña navecilla de platino, que se introduce en un tubo de porcelana *ab* (fig. 277) colocado en un hornillo de reverbero. Se pone uno de los extremos de este tubo en comunicacion con un aparato que produzca gas oxígeno perfectamente seco, y el opuesto con una serie de tubos dispuestos como representa la figura.

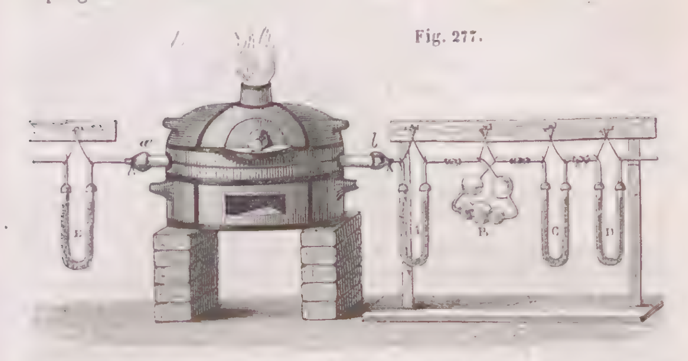
El tubo A es un tubo en U lleno de gruesos fragmentos de piedra pómez, impregnados de ácido sulfúrico concentrado.

El tubo de Liebig B contiene una disolucion concentrada de potasa cáustica.

El C, colocado á continuacion del anterior, está lleno de fragmentos gruesos de piedra pómez, humedecidos en una disolucion concentrada de potasa cáustica.

Por último, el tubo D encierra, como el primero, piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico.

Fig. 277.



Se pesa con mucha exactitud el sistema de tubos B, C, D; sea P su peso. Se monta el aparato, uniendo entre sí sus diversas partes con el auxilio de pequeños tubos de goma elástica, y despues se le llena de oxígeno, que debe desprenderse lentamente. Se calienta hasta el rojo el tubo *ab* que contiene el carbono, el cual se enciende prontamente pasando al estado de ácido carbónico. Los gases atraviesan los diversos tubos A, B, C, D. El primero A condensa la pequeña porcion de humedad higroscópica que pudiera quedar sobre las paredes interiores del tubo *ab*. El ácido carbónico formado se condensa casi totalmente en el tubo de Liebig B; pero si el desprendimiento de gas llegase á ser muy vivo en cierto instante de la operacion, lo que no es siempre fácil evitar, una parte del ácido carbónico podria pasar sin condensarse en dicho tubo, y á fin de absorberla se pone á continuacion el tubo C, lleno de piedra pómez humedecida en una disolucion de potasa cáustica.

Como los gases que atraviesan los dos tubos B y C se hallan completamente secos, y la disolucion de potasa contenida en el tubo de Liebig no puede emplearse suficientemente concentrada para que deje de ser sensible la tension de su vapor, resultará que los gases tenderán á quitar de la disolucion una cierta cantidad de vapor de agua, ocasionando una pérdida correspondiente en el peso de este aparato. Para obviar este inconveniente se pone el tubo D, que devuelve á los gases su estado de sequedad absoluta ántes de su desprendimiento en la atmósfera.

Es de temer que por la combustion del carbono se forme un poco de óxido de carbono, lo que daria lugar á inexactitudes en nuestro

análisis. Para evitar esta causa de error se llena la parte anterior del tubo *ab* de óxido de cobre muy poroso, que se calienta hasta el rojo durante la operacion. Las pequeñas porciones de óxido de carbono que pudieran acompañar á la mezcla gaseosa se convertirán necesariamente en ácido carbónico, al atravesar el óxido de cobre enrojecido, ántes de pasar á los aparatos de absorcion. Por lo demas, se separa con el intermedio de un pequeño taco de amianto la parte del tubo en que se halla el carbono de la que contiene el óxido de cobre.

Terminada la combustion del carbono, se deja que continúe algun tiempo el desprendimiento de gas oxígeno, á fin de asegurarse que todo el ácido carbónico producido ha pasado por los aparatos de absorcion. Se desmonta en seguida el aparato, y se examina primero si todo el carbono ha sido completamente quemado. Por lo regular se encuentra un pequeño residuo de materia terrosa incombustible, que se hallaba mezclada mecánicamente con el carbono. Se pesa este residuo, que no debe exceder de algunos milígramos, y se rabaja su peso π del p, para tener el peso exacto $(p-\pi)$ de carbono quemado.

Se vuelve á pesar en seguida el sistema de tubos B, C, D; sea P' su peso; es claro que $(P'-P)$ representará el del ácido carbónico producido, y se sabrá por consecuencia que un peso $(p-\pi)$ de carbono produce otro $(P'-P)$ de ácido carbónico.

Al pesar juntos los aparatos B, C, D, son indispensables algunas precauciones particulares, si ha de procederse con la debida exactitud. Estos aparatos desalojan un volúmen de aire considerable; y para obtener sus pesos absolutos P, P′ ántes y despues del experimento, seria menester adicionar el peso del aire que desalojan en ambas circunstancias. Si este flúido se encontrase exactamente en idénticas condiciones durante los momentos en que se establece el equilibrio por medio de la balanza, no habria necesidad de hacer adiciones, porque siendo estas sensiblemente iguales en ambas circunstancias, se destruirian en la diferencia $(P'-P)$. Pero no puede jamas fijarse de un modo seguro esta identidad de condiciones, y es mejor, para evitar toda causa de error, emplear el artificio siguiente, que ya dimos á conocer (§ 102) cuando se explicó el modo de pesar con exactitud un globo lleno de gas.

Los platillos de la balanza que sirva para estos casos deben tener ganchos en su parte inferior. Se cuelga el sistema de tubos B, C, D á uno de estos ganchos, con el intermedio de una varilla metálica, de modo que los aparatos vengan á quedar á una gran distancia de los dos brazos de la balanza de que penden ambos pla-

tillos. Se cuelga debajo del segundo platillo, y á la misma altura que el primero, otro sistema de tubos B′, C′, D′, iguales á los B, C, D, en cuanto sea posible, y cargados del mismo modo. El sistema B′, C′, D′ debe ponerse casi en equilibrio con el B, C, D, tal como se encontraba cuando se le pesó por primera vez ántes del experimento : por lo demas se establece el equilibrio perfecto con algunos pesos adicionales.

Es claro que al pesar por segunda vez el sistema B, C, D, se le encontrará un aumento de peso, debido al ácido carbónico que ha absorbido; este peso será dado por el que sea menester añadir para restablecer el equilibrio perfecto con las mismas condiciones en que se hizo primeramente.

Como los dos sistemas B, C, D y B′, C′, D′ desalojan el mismo volúmen de aire con corta diferencia, claro está que los otros pesos, determinados segun acabamos de indicar, serán sensiblemente independientes de las pequeñas variaciones que pudiera experimentar la constitucion del aire, durante el tiempo que medie entre las dos operaciones en que aquellos se determinan.

De este modo se halla que el ácido carbónico contiene :

1 eq. de carbono..........	75,00	27,27
2 » oxígeno...............	200,00	72,73
1 » ácido carbónico........	275,00	100,00.

Dividiendo el número 72,73 por la densidad 1,1056 del gas oxígeno, y el número 100 por la del ácido carbónico que es 1,5290, resultan los dos cocientes 65,7 y 65,4, que son próximamente iguales; de lo cual debe inferirse que 1 volúmen de gas ácido carbónico contiene un volúmen de oxígeno igual al suyo.

La diferencia que se nota entre los números 65,7 y 65,4, debe atribuirse á que el gas ácido carbónico se separa bastante de la ley de Mariotte, aun bajo la presion ordinaria de la atmósfera; y, si en vez de dividir los números 72,73 y 100 por las densidades respectivas del oxígeno y del ácido carbónico bajo la presion ordinaria de $0^{m},760$, los dividiéramos por las densidades que tienen estos gases bajo presiones mas débiles, por ejemplo, bajo la de $0^{m},100$, la diferencia entre los cocientes disminuiria, acercándose mucho mas á la igualdad.

Oxido de carbono, CO.

§ 262. Se obtiene el gas óxido de carbono, haciendo pasar con lentitud una corriente de gas ácido carbónico por un tubo largo de porcelana, ó de vidrio poco fusible, que contenga carbon y se halle

enrojecido por el fuego. El ácido carbónico se combina en este caso con una cantidad de carbono igual á la que contenia ya.

Es mas sencillo calentar carbonato de cal reducido á polvo fino y mezclado íntimamente con carbon, en una retorta de barro dispuesta en un hornillo de reverbero. El carbonato de cal se descompone al calor rojo, y se desprende ácido carbónico, el cual, pasando por el carbon á la temperatura indicada, se convierte en óxido de carbono. Es menester agitar algunos instantes el gas recogido en las campanas, con una corta cantidad de potasa cáustica, disuelta en agua, á fin de absorber la pequeña porcion de ácido carbónico que pudiera salir sin descomponerse.

Pero el medio mas fácil de obtener el gas óxido de carbono consiste en descomponer por el ácido sulfúrico concentrado el ácido oxálico, que es la tercera combinacion del carbono con el oxígeno, y que muy luego estudiaremos. El ácido oxálico cristalizado tiene por fórmula $C^2O^3 + 3HO$: puede perder fácilmente, y sin descomponerse, 2 equivalentes de agua, mas no puede privársele del tercero sin que se descomponga en ácido carbónico y en óxido de carbono. En efecto, se tiene, $C^2O^3 = CO^2 + CO$.

Se verifica esta descomposicion, cuando se calienta el ácido oxálico cristalizado en contacto con un cuerpo muy ávido de agua, por ejemplo, con un exceso de ácido sulfúrico concentrado.

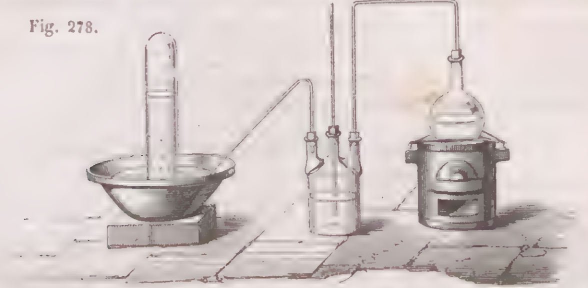
Se introduce en un matraz el ácido oxálico, y se le añaden 5 ó 6 veces su peso de ácido sulfúrico concentrado. Se adapta al matraz un tubo encorvado propio para conducir el gas debajo de una campana colacada sobre el agua ó el mercurio. Mediante la accion del calor, el ácido oxálico se disuelve desde luego en el ácido sulfúrico; pero no tarda despues en producirse una efervescencia debida á la descomposicion del ácido oxálico en sus dos elementos gaseosos, ácido carbónico y óxido de carbono, que se desprenden en volúmenes iguales. Se recoge la mezcla en una campana, y se introduce en ella un volúmen de algunos centímetros cúbicos de una disolucion de potasa, que absorbe el ácido carbónico, y deja el óxido de carbono puro. La mezcla gaseosa puede pasar tambien, segun se va desprendiendo, por un frasco lavador (fig. 278) que contenga potasa cáustica; y no habrá mas que acabar de absorber en la campana la pequeña cantidad de ácido carbónico que hubiese pasado sin ser absorbido en el frasco.

El gas óxido de carbono es incoloro é inodoro; no ha sido liquidado hasta el dia; arde en contacto del aire con una llama azul característica, pasando al estado de ácido carbónico. Su densidad es de 0,967.

El agua disuelve cerca de $\frac{1}{16}$ de su volúmen de este gas.

El óxido de carbono no ejerce reaccion alguna sobre la tintura de tornasol, y no se combina con los ácidos ni con las bases.

Fig. 278.



Siempre que la combustion se efectúa en nuestros hornos bajo la influencia de una cantidad insuficiente de oxígeno, se forma mucho óxido de carbono. Esto es lo que sucede cuando se enciende fuego en uno de nuestros hornillos de laboratorio, poniendo debajo algunas ascuas, y llenándole despues de carbon. Las capas inferieres arden produciendo ácido carbónico á causa del oxígeno del aire que penetra por la rejilla del horno; y en este paraje precisamente es donde existe una temperatura mas elevada. En las capas superiores la combustion se verifica solo por la corriente gaseosa que se ha calentado fuertemente atravesando las capas inferiores; el ácido carbónico se convierte en óxido de carbono, y la temperatura se disminuye mucho en este caso. Por último, al salir la mezcla al aire libre, si la temperatura es aun suficientemente elevada en la parte superior del hornillo, el gas óxido de carbono se inflama y arde con una llama azul.

En los hornos verticales, frecuentemente de grande altura, que se emplean en las artes metalúrgicas, la combustion se verifica del mismo modo; pero como se cargan el combustible y mineral frios por la boca superior del horno, la temperatura en esta es bastante baja, y no hay combustion de óxido de carbono á menos que se inflame el gas, en cuyo caso continúa indefinidamente.

El óxido de carbono no solo es impropio para alimentar la respiracion de los animales, sino que obra como un verdadero veneno: un animal muere cuando se le deja permanecer algun tiempo en una atmósfera de aire que contenga algunas centésimas de óxido de carbono; y á la presencia de este gas debe atribuirse el malestar y los dolores de cabeza que sienten los que se hallan en una

pieza mal ventilada, cerca de un foco de combustion en que haya un exceso de carbon, y cuyos productos no se desprendan inmediatamente por una chimenea. Si la proporcion de gas óxido de carbono llega á ser considerable en un aposento herméticamente cerrado, la asfixia producida causará la muerte.

§ 263. El análisis del óxido de carbono se ejecuta fácilmente por medio del eudiómetro, quemando el gas con el oxígeno.

Supongamos que se hayan introducido en el eudiómetro

	100	partes en volúmen de gas óxido de carbono,
	75	» » de oxígeno.
Total.	175	

Se hace pasar la chispa eléctrica: el volúmen del gas, despues de la explosion, quedará reducido á 125 partes. Si se introduce en el eudiómetro un poco de potasa y se agita, el ácido carbónico producido será absorbido; y midiendo el volúmen del gas que queda, se encontrará que se ha reducido á 25 partes, que son de oxígeno puro. El volúmen de gas ácido carbónico producido será por consiguiente de 100 partes, esto es, igual al del óxido de carbono que hemos empleado, y el volúmen de gas oxígeno consumido será

$$75-25=50.$$

Así pues, 1 volúmen de gas óxido de carbono consume $\frac{1}{2}$ de oxígeno, y produce 1 volúmen de gas ácido carbónico. Pero un volúmen de gas ácido carbónico encierra otro igual de gas oxígeno; luego 1 volúmen de gas óxido de carbono no contendrá mas que $\frac{1}{2}$ volúmen de oxígeno. Restando ahora de la densidad del óxido de

carbono	0,9674
la $\frac{1}{2}$ densidad del oxígeno	0,5528
quedará	0,4146

que será el peso del carbono combinado con 0,5528 de oxígeno, para formar un peso 0,9674 de óxido de carbono. Por consecuencia el óxido de carbono estará formado de

1 eq. carbono	75,00	42,86
1 » oxígeno	100,00	57,14
1 » óxido de carbono	175,00	100,00.

Gas cloroxicarbónico, CO.Cl.

§ 264. El cloro y el óxido de carbono se combinan bajo la influencia de la luz solar. Para obtener esta combinacion se hace el

vacío tan completamente como sea posible en un globo de vidrio bien seco; y se le llena de gas óxido de carbono seco, hasta que su presion sea igual á la mitad de la atmosférica. Se cierra el globo, y despues se introduce gas cloro hasta que la presion interior sea exactamente igual á la de la atmósfera. Cerrado otra vez el globo, contendrá un volúmen de cloro y otro igual de óxido de carbono, que se hallarán mezclados solamente, si se ha tenido cuidado de introducir el cloro en un paraje algo sombrío ó mejor, iluminado por una luz artificial. Mas si se expone la mezcla á los rayos directos del sol, la combinacion se efectuará al instante, y el color verde del cloro desaparecerá inmediatamente. La combinacion se verifica tambien á la luz difusa del dia, pero exige en este caso mucho mas tiempo. Como quiera que sea, si despues de efectuada la combinacion, se pone el globo en comunicacion con el manómetro que servia para medir la presion interior, se observará que esta presion es solo la mitad de la atmosférica. De aquí resulta, que 1 volúmen de cloro se ha combinado con 1 volúmen de óxido de carbono para formar 1 volúmen del nuevo gas, á que se da el nombre de *gas cloroxicarbónico*. Su densidad se obtendrá sumando con la densidad del cloro........... 2,440
la del gas óxido de carbono.......................... 0,967

densidad del gas cloroxicarbónico...................... 3,407

y su fórmula será CO.Cl. Se ve que puede ser considerado como ácido carbónico, CO^2 ó CO.O, suponiendo que á uno de los equivalentes del oxígeno sustituya un equivalente de cloro.

El gas cloroxicarbónico es incoloro, con un olor sofocante particular. Se descompone en contacto del agua, al mismo tiempo que lo hace tambien 1 equivalente de este líquido, produciéndose ácido clorhídrico y gas ácido carbónico. En efecto se tiene:

$$CO.Cl + HO = CO^2 + HCl.$$

Acido oxálico, C^2O^3.

§ 265. El ácido oxálico existe en un crecido número de vegetales. Se le prepara artificialmente haciendo hervir azucar con ácido nítrico un poco diluido. Este ácido suelta una porcion de su oxígeno, y se desprende deutóxido de azoe y ácido carbónico, quedando en el líquido ácido oxálico, que por el enfriamiento se deposita en forma de cristales.

Por 1 parte de azucar se emplean 6 de ácido nítrico de la densidad de 1.2, y se obtiene cerca de $\frac{1}{2}$ de ácido oxálico.

El ácido oxálico que se ha precipitado del líquido, retiene siempre

un poco de ácido nítrico; se le purifica disolviéndole en el agua hirviendo, y dejándole cristalizar nuevamente. Son menester 9 partes de agua, á la temperatura ordinaria, para disolver 1 de ácido oxálico; pero si se emplea el agua hirviendo, basta una proporcion mucho menor.

El ácido oxálico cristalizado tiene por fórmula C^2O^3+3HO. Calentándole á 100° en medio de una corriente de aire seco, ó expuesto durante mucho tiempo en el vacío, pierde un 28 por 100 de su peso, y esta merma corresponde á 2 equivalentes de agua. Pero para privarle del tercer equivalente, es menester combinarlo con una base. Si se le quisiera quitar por otro medio este equivalente de agua, se descompondria completamente en ácido carbónico y en óxido de carbono. Hemos sacado partido de esta reaccion para preparar el gas óxido de carbono.

El ácido oxálico es un ácido enérgico, que se combina con las bases, produciendo sales perfectamente definidas; y desaloja con facilidad al ácido carbónico de todas sus combinaciones.

§ 266. El análisis del ácido oxálico se ejecuta del modo siguiente:

Supongamos primero que se trate de analizar el ácido oxálico cristalizado con 3 equivalentes de agua, cuya fórmula es C^2O^3+3HO. Se pesa con exactitud 1 gramo de este ácido reducido á polvo fino; se le mezcla con 20 á 30 veces su peso de óxido de cobre recien calcinado y perfectamente seco; se introduce la mezcla en un tubo de vidrio poco fusible, de 5 á 6 decímetros de longitud, abierto por uno de sus extremos *a*, cerrado y adelgazado por el opuesto *b*. Se echa despues óxido de cobre puro, de modo que el tubo quede lleno hasta una distancia de 3 á 4 centímetros de la abertura *a*. Se coloca este tubo en un hornillo largo de palastro, construido como lo indica la figura 279. Se adapta, con auxilio de un tapon

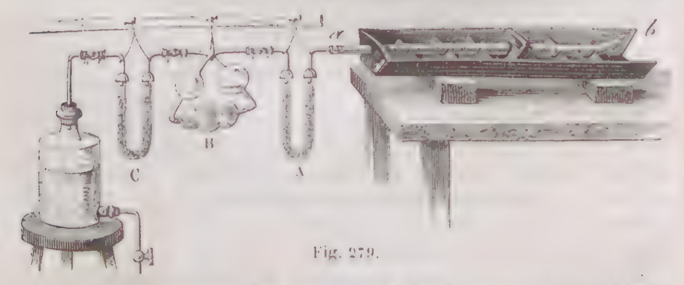


Fig. 279.

de corcho, el sistema de tubos A, B, C, dispuestos segun hemos dicho al tratar del análisis del ácido carbonico (§ 261). En fin se

pone la extremidad del tubo C en comunicacion con un frasco aspirador provisto de un tubo (no representado en la figura) lleno de piedra pómez con ácido sulfúrico: tubo que tiene por objeto impedir que el aire exterior traiga su humedad hasta el C. El tubo A se ha pesado separadamente, y supondremos que su peso sea P. Los dos tubos B y C se han pesado juntos, y representaremos su peso por P′.

Dispuesto el aparato, se calienta hasta el rojo la porcion del tubo *ab* en que se halla el óxido de cobre, y cuando se ha enrojecido en una longitud de 1 á 2 decímetros, se aproximan con cuidado las ascuas hácia la parte del tubo que contiene la mezcla de óxido de cobre y ácido oxálico. No tarda en principiar la descomposicion de este ácido; el óxido de cobre cede la cantidad de oxígeno necesaria para quemar el carbono, convirtiéndole en ácido carbónico, y el agua queda libre: la mezcla de gas ácido carbónico y vapor de agua pasa sucesivamente por los tubos A, B, C. El tubo A retiene completamente el vapor de agua, miéntras el ácido carbónico se disuelve en los tubos B y C. Se continúa así hasta cubrir de fuego todo el tubo; la combustion del ácido oxálico concluye entónces, el desprendimiento de gas cesa, y, como la accion absorbente sigue ejerciéndose en el tubo de Liebig B, la presion interior llega á ser menor que la de la atmósfera, y la disolucion de potasa va subiendo hácia el tubo A, y aun podria introducirse en él, si no se tomase la precaucion de inclinar el aparato de Liebig en sentido opuesto, es decir, desde la posicion (fig. 280), que conserva durante la combustion, hasta la de la figura 281. Ya no hay que temer absorcion en este caso, pues la potasa solo puede llenar la mitad de la bola *e*; y si el enrarecimiento del gas interior continuase, el aire atmosférico penetraria por el tubo C (fig. 279) atravesando en forma de burbujas las bolas del aparato de Liebig.

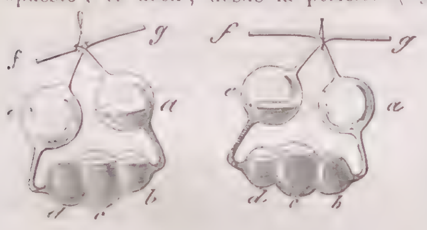


Fig. 280. Fig. 281.

El ácido carbónico y vapor de agua, procedentes de la combustion del ácido oxálico, no son sin embargo completamente absorbidos: parte de ellos queda siempre en el tubo de combustion, y es indispensable hacerla pasar tambien por los tubos absorbentes. Para el efecto, se separa el carbon encendido que rodea la extremi-

dad b del tubo de combustion; se rompe la punta b cuando aquella se enfría, y se adapta al instante, por medio de goma elástica, un tubo lleno de fragmentos de potasa cáustica, dejando al mismo tiempo correr el agua del frasco aspirador. En virtud de la aspiracion producida de este modo, el aire exterior penetra por todo el aparato, despues de haber depositado en el tubo de potasa cáustica, que encuentra á su entrada, toda su humedad y la pequeña porcion de ácido carbónico que pudiera contener; arrastra en su corriente al vapor de agua y al ácido carbónico que existian aun en el tubo de combustion, y los deja en los tubos absorbentes A, B, C. Cuando ha salido 1 litro de agua poco mas ó menos del frasco aspirador, puede tenerse seguridad de que todos los productos de la combustion del ácido oxálico se han condensado en los tubos absorbentes. Se cierra entónces el orificio que da salida al líquido, se desmonta el aparato y se pesan separadamente :

1° El tubo A con ácido sulfúrico que ha absorbido el agua; se le hallará un peso Q;

2° El sistema de tubos B, C, que han condensado el ácido carbónico; sea Q′ su peso.

Es claro que el agua formada por la combustion de 1 gramo de ácido oxálico pesará (Q—P), y que el peso del ácido carbónico, producto de la misma combustion, será (Q′—P′).

Si el experimento se ha ejecutado convenientemente, resultará

$$(Q - P) = 0^{gr},429$$
$$(Q' - P') = 0^{gr},698.$$

Ahora bien, $0^{gr},429$ de agua encierran $0^{gr},0476$ de hidrógeno; y $0^{gr},698$ de ácido carbónico contienen $0^{gr},1905$ de carbono. Como por otra parte el ácido oxálico no contiene mas que carbono, hidrógeno y oxígeno, se obtendrá para la composicion de 1 gramo de ácido oxálico

Hidrógeno	0,0476
Carbono	0,1905
Oxígeno	0,7619
	1,0000

y en consecuencia para 100 partes en peso :

Hidrógeno	4,76
Carbono	19,05
Oxígeno	76,19
	100,00.

Para saber ahora la relacion que guardan en el ácido oxálico los

equivalentes de estos tres cuerpos elementales, bastará dividir las proporciones ponderables de cada uno de ellos por su respectivo equivalente químico. Se obtiene así :

$$\frac{4.76}{12.50}=0,381$$
$$\frac{19,05}{75,00}=0,254$$
$$\frac{76.19}{100,00}=0,762.$$

Estas fracciones se hallan entre sí en la razon de 2 : 3 : 6.

Así la fórmula del ácido oxálico cristalizado será $C^2H^3O^6$ ó un múltiplo de esta.

La fórmula $C^2H^3O^6$ nos dará

3 eq.	hidrógeno	37,50
2 »	Carbono	150,00
6 »	Oxígeno	600,00
1 »	ácido oxálico cristalizado	787,50.

§ 267. Hemos visto que el ácido oxálico cristalizado, calentado á 100° en el aire seco, perdia cierta proporcion de agua; y vamos ahora á exponer el método para determinar esta proporcion con toda exactitud. Se toma un tubo de vidrio que tenga la forma representada en la figura 282; se introduce en él un peso de ácido oxálico, determinado muy exactamente. Para esto se pesa el tubo vacío, y se echa despues el ácido oxálico cristalizado, de modo que no quede ninguna porcion adherida en el brazo vertical *ab*. Se vuelve á pesar el aparato, y el aumento de peso que resulte será el peso de la materia introducida. Supongamos que este sea $= 1^{gr},000$: se pone en comunicacion el aparato *abcd*, por su extremidad *d*, con un frasco aspirador lleno de agua (fig. 283), y por la opuesta *a*, con un tubo en U lleno de piedra pómez con ácido sulfúrico. Se le coloca en una pequeña caldera que contenga agua hirviendo, si se quiere calentar la materia hasta la temperatura de 100°, ó agua saturada de sal marina, si se desea que la temperatura llegue á 110°, ó en fin se hace uso de un baño de aceite, si esta ha de ser de 300°. Un termómetro de mercurio in dica en cada instante la temperatura : que por lo demas puede mantenerse casi estacionaria, dirigiendo convenientemente la accion del fuego. Para el caso actual es suficiente la temperatura de ebullicion del agua.

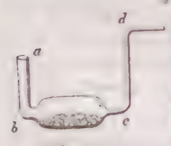


Fig. 282.

Dejando salir el líquido del frasco aspirador, el aire exterior se introduce en el aparato; se deseca en el tubo A, y pasa en seguida

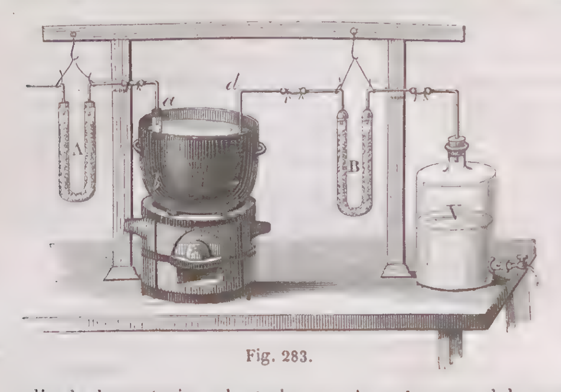


Fig. 283.

por medio de la materia calentada, que le cede parte del agua que contiene. Cuando queda vacío el frasco, se vuelve á poner el tubo *abcd* sobre el platillo de la balanza y se determina rigurosamente su peso. La diferencia entre este y el primitivo dará la cantidad de agua desprendida. Pero falta averiguar si la materia puede perder una nueva cantidad de agua, sometiéndola durante un espacio mas largo á la misma temperatura de 100°. Para asegurarse de ello, se coloca otra vez el tubo en el aparato, y despues de llenar el frasco aspirador, se deja correr el agua. Cuando esta se ha derramado completamente, se pesa el tubo *abcd* : si se encuentra el mismo peso que anteriormente, es prueba de que la materia ha soltado toda el agua que podia perder á esta temperatura; pero si resulta una nueva merma en el peso, será preciso exponer por tercera vez la materia calentada á la corriente de aire seco, continuando asi hasta que ya no se halle diferencia entre los pesos consecutivos.

Suponiendo que se haya tomado 1 gramo de ácido oxálico cristalizado, se encuentra una pérdida de peso igual á $0^{gr},286$: pérdida que corresponde á 2 equivalentes de agua. Se tiene en efecto,

1 eq.	hidrógeno	12,50	
2 »	carbono	150,00	
4 »	oxígeno	400,00	
1 »	ácido oxálico desecado	562,50	71,43
2 »	agua	225,00	28,57
1 »	ácido oxálico cristalizado	787,50	100,00.

La fórmula del ácido desecado es C^2O^4H, que admite tambien la expresion $C^2O^3.HO$; pues todavía puede eliminarse 1 equivalente de agua reemplazándole por 1 equivalente de base.

Si se vierte nitrato de plomo sobre un oxalato soluble, por ejemplo, sobre el oxalato neutro de potasa, se forma un precipitado blanco de oxalato de plomo, que tiene por fórmula $PbO.C^2O^3$; lo cual se demuestra por un análisis directo de esta sal.

Se empieza por determinar el óxido de plomo. Con este objeto, se pesa exactamente en un crisol de platino cierta cantidad de oxalato de plomo, y se le calienta con una lámpara de alcohol. El oxalato se descompone, y queda óxido de plomo: 1 gramo de oxalato de plomo produce de este modo $0^{gr},742$ de óxido de plomo.

Se toma $1^{gr},000$ de oxalato de plomo, se le mezcla con óxido de cobre, y se dispone el aparato para quemarlo y recoger los productos de su combustion de la misma manera que hemos indicado (§ 266). No se obtiene agua, sino solamente 0,315 de ácido carbónico, que hacen 0,086 de carbono.

El oxalato de plomo se hallará segun esto formado de

Carbono....................	0,086
Oxígeno....................	0,172
Oxido de plomo..............	0,742
	1,000.

De donde sacaremos la composicion siguiente:

2 eq. carbono...............	150,0	8,60
3 » oxígeno...............	300,0	17,19
1 » óxido de plomo.......	1394,5	74,21
1 » oxalato de plomo.....	1844,5	100,00.

Deduciremos de todos estos análisis, que el ácido oxálico de las sales tiene por fórmula C^2O^3; que el ácido cristalizado en una disolucion acuosa está representado por C^2O^3+3HO; y finalmente, que el ácido desecado se expresa por C^2O^3+HO.

Recapitulacion de las combinaciones del carbono con el oxigeno. Equivalente del carbono.

§ 268. Las tres combinaciones del carbono con el oxígeno, que hemos estudiado anteriormente, se hallan compuestas del modo que sigue:

Oxido de carbono.....	Carbono.....	42,86
	Oxígeno.....	57,14
		100,00
Acido carbónico......	Carbono.....	27,27
	Oxígeno.....	72,73
		100,00
Acido oxálico........	Carbono.....	33,33
	Oxígeno.....	66,67
		100,00.

Calculemos la composicion de estas sustancias, refiriéndola á una misma cantidad 100 de carbono; y tendremos:

Oxido de carbono.....	Carbono.....	100,0
	Oxígeno.....	133,3
		233,3
Acido carbónico......	Carbono.....	100,0
	Oxígeno......	266,7
		366,7
Acido oxálico........	Carbono.....	100,0
	Oxígeno.....	200,0
		300,0.

Las cantidades de oxígeno combinadas con una misma proporcion de carbono se hallarán entre sí, como 1 : 2 : $\frac{3}{2}$.

Las fórmulas mas sencillas que puedan darse á estos compuestos serán:

Oxido de carbono...	CO	equivalente	= 175,0
Acido carbónico.....	CO^2	»	= 275,0
Acido oxálico.......	$CO^{\frac{3}{2}}$	»	= 225,0.

El ácido oxálico es un ácido enérgico; satura completamente las bases, y da sales neutras al papel de tornasol, que pueden obtenerse anhidras. El análisis de estas sales ha hecho ver que un equivalente de base (por ejemplo el peso 1394,5 de óxido de plomo) se combina con 450 de ácido oxálico: el número 450 representará, pues, el equivalente del ácido oxálico. Pero este número es precisamente el que se obtiene, dando al ácido oxálico la fórmula $CO^{\frac{3}{2}}$. Esta, ó su igual C^2O^3, será por consecuencia la que en realidad corresponde á este ácido.

El ácido carbónico es un ácido débil, que no neutraliza com-

pletamente las bases. Ademas, con las bases muy fuertes, como la potasa y la sosa, forma muchos carbonatos; de suerte que puede caber duda sobre cuál de ellos ha de ser considerado como sal neutra. Pero con las bases menos fuertes, cuales son la barita, la estronciana, la cal y los óxidos metálicos, el ácido carbónico solo forma una serie de carbonatos; y así es que los químicos consideran en general estos últimos como sales neutras. El análisis de uno cualquiera de ellos nos demuestra que un equivalente de base se combina con un peso 275 de ácido carbónico. El número 275 representará segun esto el equivalente del ácido carbónico, y en consecuencia la fórmula de este ácido será CO^2.

En cuanto al óxido de carbono, como que es un compuesto indiferente, cuyas reacciones son poco marcadas, la fórmula quedará indeterminada; y nosotros la notaremos por CO, pero igual razon habria para expresarla por C^2O^2.

Establecidas las fórmulas de las combinaciones del carbono con el oxígeno, podrá al instante deducirse de ellas el equivalente del carbono por medio de una de las tres proporciones:

$$\left.\begin{array}{l} 57,14 : 42,86 :: 100 : x \\ 72,73 : 27,27 :: 200 : x \\ 66,67 : 33,33 :: 300 : 2x \end{array}\right\} \text{de donde } x = 75,00.$$

§ 269. Hemos visto que 1 volúmen de óxido de carbono encierra $\frac{1}{2}$ de gas oxígeno, y que 1 volúmen de gas ácido carbónico contiene 1 de oxígeno.

No podemos decir hasta ahora cuál es el volúmen de carbono gaseoso ó de vapor de carbono, que existe en 1 volúmen de gas óxido de carbono, o de ácido carbónico; puesto que no se ha llegado aun á volatilizar el carbono. Se concibe no obstante que esta volatilizacion sea posible, empleando una temperatura superior á cuantas hasta el dia nos es dado producir.

Si las leyes que hemos enunciado (§ 126) se hallasen enteramente demostradas, no habria dificultad en admitir para la mayor parte de los casos, que, conocido el volúmen de un compuesto binario gaseoso y tambien el volúmen gaseoso de uno de sus dos elementos, pueda determinarse con el auxilio de estas leyes el volúmen gaseoso del otro elemento, sin necesidad de recurrir á la experiencia para determinarlo directamente, ni aun de conocer la densidad de su vapor. Este caso se presentará principalmente, cuando los dos cuerpos componentes formen combinaciones gaseosas. Admitamos la exactitud de estas leyes, y apliquémoslas á la composicion del óxido de carbono y del ácido carbónico.

1 volúmen de gas óxido de carbono, que encierra $\frac{1}{2}$ volúmen de oxígeno, deberá contener, segun las leyes referidas, ó $\frac{1}{2}$ volúmen de vapor de carbono sin condensacion, ó 1 volúmen del mismo vapor condensado en $\frac{1}{2}$ volúmen; lo que equivale á decir que $\frac{1}{2}$ volúmen de oxígeno, combinándose con 1 volúmen de vapor de carbono, debe formar 1 volúmen de óxido de carbono.

1 volúmen de gas ácido carbónico, que contiene 1 volúmen de oxígeno, deberá encerrar $\frac{1}{2}$ volúmen de vapor de carbono, y la condensacion será todavía igual en este caso á $\frac{1}{2}$ volúmen.

Mas, si 1 volúmen de gas ácido carbónico, cuya densidad es.. 1,5290
encierra 1 volúmen de oxígeno que tiene por densidad... 1,1056
quedará para el peso de $\frac{1}{2}$ volúmen de vapor de carbono.. 0,4234.

La densidad del vapor de carbono será por consiguiente 0,8468.

Es evidente que de las dos especies de composicion que hemos supuesto al gas óxido de carbono, únicamente es posible la primera; porque es la sola que con la densidad del vapor de carbono, que acabamos de deducir de la composicion del ácido carbónico, reproduce la densidad 0,967 del gas óxido de carbono. Hallamos en efecto:

$\frac{1}{2}$ vol. de	vapor de carbono........	0,4234
$\frac{1}{2}$ »	oxígeno.................	0,5528
		0,9762.

La densidad del vapor de carbono 0,8468 no debe mirarse sino como un valor aproximado, puesto que ha sido deducida de la densidad del gas ácido carbónico: densidad que á la temperatura y presion ordinarias es bastante considerable. Obtendremos un valor mas exacto, partiendo de la composicion que el análisis sintético, fundado en los pesos obtenidos con la balanza, ha dado para el ácido carbónico, y admitiendo solamente la densidad observada del gas oxígeno; pondremos para esto la proporcion

$$72,73 : 27,27 :: 1,1056 : \frac{x}{2}.$$

de donde $x = 0,8290.$

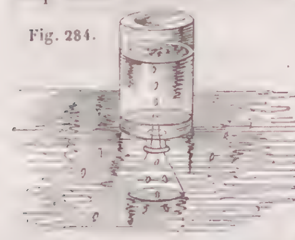
En la teoría atómica se supone que el ácido carbónico está formado de 1 átomo de carbono y de 2 átomos de oxígeno; las formulas atómicas de las combinaciones del carbono con el oxígeno serán por consiguiente idénticas á las fórmulas en equivalentes, y el peso atómico del carbono será tambien 75,00.

COMBINACIONES DEL CARBONO CON EL HIDRÓGENO.

§ 270. Las combinaciones entre el hidrógeno y el carbono son muy numerosas : dos de ellas tienen la forma de gas á la temperatura ordinaria, y las demas son líquidas ó sólidas. Reservándonos para el estudio de las sustancias orgánicas el describir muchas de estas combinaciones, nos limitaremos por el pronto á indicar las principales propiedades de las dos combinaciones gaseosas.

Hidrógeno protocarbonado, C^2H^4.

§ 271. Este gas se llama tambien *gas de los pantanos*, porque se desprende abundantemente del cieno ó poso que se forma en el fondo de las aguas estancadas. Cuando se remueve este cieno con un palo, se ven salir burbujas de gas, que se recoge fácilmente colocando boca á bajo un frasco lleno de agua (fig. 284), y provisto de un embudo ancho. El gas que se obtiene por este medio es impuro, y se halla mezclado con azoe y ácido carbónico.


Fig. 284.

Para obtenerlo en estado de pureza, se calienta en una pequeña retorta de vidrio una mezcla de acetato de sosa y de una base enérgica, como cal ó potasa cáustica. Ordinariamente se emplea una mezcla de estas dos bases. Se disuelve la potasa en muy pequeña cantidad de agua, y se incorpora cal en polvo para formar una pasta consistente. Explicaremos mas adelante la reaccion que en este caso da orígen al hidrógeno protocarbonado.

Este gas es incoloro é inodoro, y tiene por densidad 0,5590. Arde en el aire con una llama azulada, y los productos de su combustion son agua y ácido carbónico. El agua disuelve muy corta proporcion de este gas.

El hidrógeno protocarbonado se desprende en cantidad muy considerable de la ulla de ciertas minas ; y como es mas ligero que el aire, tiende á ocupar la parte superior en los trabajos subterráneos, produciendo con aquel flúido mezclas explosivas muy peligrosas, que por desgracia son frecuentes, y mortales para no pocos de los que trabajan en dichas minas.

El análisis del hidrógeno protocarbonado se ejecuta por medio del eudiometro. Supongamos que se hayan introducido en este apa-

rato 100 partes de hidrógeno protocarbonado, y 300 de oxígeno: haciendo pasar la chispa eléctrica, el volúmen gaseoso quedará reducido á 200. Si se introduce en la mezcla un fragmento de potasa humedecida, el ácido carbónico formado por la combustion será absorbido, y se verá que quedan 100 partes de oxígeno. Las 100 de ácido carbónico contienen 50 de vapor de carbono y 100 de oxígeno, de modo que habrán desaparecido 100 partes de oxígeno para formar agua con el hidrógeno del hidrógeno protocarbonado; de donde se infiere que este último gas contendrá 200 de gas hidrógeno. Así pues, para las 100 partes de gas hidrógeno protocarbonado resultarán:

200 hidrógeno
50 vapor de carbono.

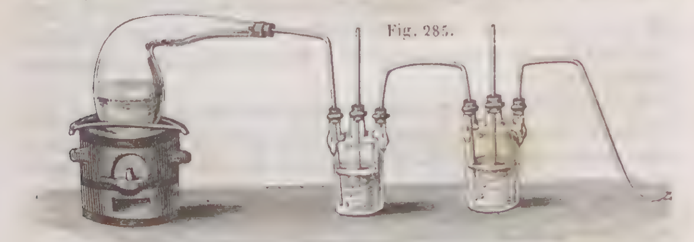
Esta composicion se halla ademas corroborada por el valor de la densidad del gas: en efecto,

2 vol. de hidrógeno pesan.........	0,1382	25,00
½ » vapor de carbono..........	0,4145	75,00
	0,5527	100,00.

La fórmula que se da al hidrógeno protocarbonado es C^2H^4.

Hidrógeno bicarbonado, C^4H^4.

§ 272. Este gas recibe con frecuencia el nombre de *gas oleífico* ú *olefiante*; y se le prepara calentando 1 parte, en peso, de alcohol con 5 ó 6 de ácido sulfúrico concentrado. La reaccion es demasiado complicada para que podamos explicarla por ahora; sus productos gaseosos son hidrógeno bicarbonado, ácido carbónico y ácido sulfuroso. Se pone la mezcla de alcohol y ácido sulfúrico en una retorta bastante grande (fig. 285), por causa de la espuma que se levanta hácia


Fig. 285.

el fin de la operacion; el gas que resulta pasa primero por un frasco lavador que contiene agua, y despues por un segundo frasco con

una disolucion de potasa á fin de absorber los ácidos carbónico y sulfuroso.

El hidrógeno bicarbonado es un gas incoloro, de una densidad igual á 0,9784; arde en el aire con una llama clara y brillante. Se descompone en parte cuando se le hace pasar por un tubo de porcelana enrojecido al fuego, depositándose carbon sobre las paredes de este tubo.

El gas hidrógeno bicarbonado arde tambien en una atmósfera de cloro, y de esta combustion resultan gas ácido clorhídrico y carbon que se deposita. El cloro y el hidrógeno bicarbonado se combinan entre sí cuando se les mezcla sobre el agua, dando orígen á un líquido oleoso, volátil, de un olor etéreo y agradable.

El análisis de este gas se ejecuta del mismo modo que el del hidrógeno protocarbonado.

Se introducen en el eudiómetro:

Hidrógeno bicarbonado....	100
Oxígeno.................	400.

Haciendo pasar la chispa eléctrica, quedan por residuo 300; la potasa cáustica absorbe 200 de ácido carbónico, que contienen 100 de vapor de carbono y 200 de oxígeno. El gas que queda en el eudiómetro es oxígeno. Luego 100 partes de oxígeno se han combinado con el hidrógeno del gas hidrógeno bicarbonado.

100 partes de este gas contendrán segun esto

200 hidrógeno
100 vapor de carbono

ahora bien,	2 vol. hidrógeno pesan..	0,1382	14.29
	4 » vapor de carbono.	0,8290	85,71
		0,9672	100,00.

Este valor se aproxima mucho á la densidad 0,9784 hallada por la experiencia.

La fórmula que se da al hidrógeno bicarbonado es C^4H^4.

El gas del alumbrado se halla compuesto principalmente de gases hidrógenos carbonados, que describiremos en la química orgánica.

COMBINACION DEL CARBONO CON EL AZUFRE.

Sulfuro de carbono ú ácido sulfocarbónico, CS^2.

§ 273. El azufre y el carbon no se combinan cuando se calienta una mezcla de ambos cuerpos bajo la presion ordinaria de la at-

mósfera, pues el azufre destila ántes que la temperatura sea bastante elevada para que la combinacion se verifique. Pero si se calienta el carbon hasta el calor rojo en un tubo de porcelana, y se hace pasar por este tubo azufre en vapor, la combustion del carbon se efectúa en medio del vapor de azufre lo mismo que en el oxígeno. Cuando el carbon arde en el oxígeno, se convierte en ácido carbónico, CO^2; y si lo verifica en el vapor de azufre, se trasforma en sulfuro de carbono ó en ácido sulfocarbónico, CS^2. Sin embargo, cuando la combustion tiene lugar en el oxígeno, es indispensable un exceso de este gas, sin lo cual se formaria óxido de carbono, CO. Esta circunstancia no se presenta en la combustion del carbon por el vapor de azufre, pues no se forma jamas otro compuesto que acido sulfocarbónico, y hasta el dia no han podido obtenerse combinaciones de carbono menos sulfuradas.

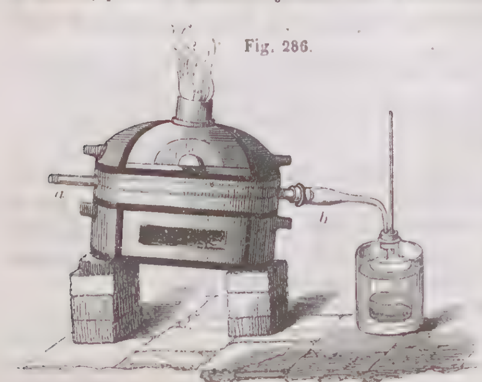


Fig. 286.

Para preparar el sulfuro de carbono, se llena de pequeños fragmentos de brasa de carbon apagada un tubo de porcelana, que se dispone en un horno de reverbero (fig. 286). Se cierra con un tapon de corcho la extremidad *a* del tubo, que debe salir bastante fuera del horno para que el tapon no pueda quemarse. A la extremidad opuesta *b* se adapta una alargadera encorvada, cuyo pico se sumerge un poco en el agua del frasco que sirve de recipiente. Cuando el tubo de porcelana se halle enrojecido por el fuego, se introduce un fragmento de azufre por *a*, y se vuelve á poner inmediatamente el tapon. El azufre se funde, corre por el tubo, ligeramente inclinado al efecto, y va á parar á las regiones mas calientes, d[illegible]se convierte en vapor; este pasa por medio del carbon hec[illegible]a, y produçe sulfuro de carbono, que se condensa en la alagardera, y cae en forma de gotas espesas y oleaginosas al fondo del agua del recipiente. Cuando cesa el desprendimiento de vapores, se introduce otro pedazo de azufre, y se continúa asi hasta que haya desaparecido la mayor parte del carbon que se ha puesto en el tubo.

Para obtener una cantidad algo considerable de sulfuro de carbono, se sustituye al tubo de porcelana una retorta de barro tubulada (fig. 287). Se introduce por la boca superior *a* un tubo de porcelana *ab*, que baja hasta muy cerca del fondo de la retorta, y se tiene cuidado de enlodar con arcilla la abertura *a*. Despues se llena toda la retorta de fragmentos de brasas apagadas, y se la coloca en un hornillo provisto de su laboratorio (fig. 288). Se ajusta á su cuello un tubo ancho, que entra en otro *cd* de mucho mayor diámetro, por el cual circula una corriente de agua fria, y comunica con un recipiente, del mismo modo que en la operacion anterior.

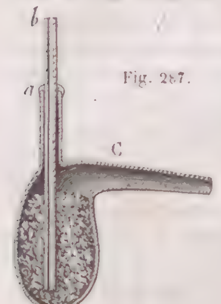


Fig. 287.

Se pone fuego en el hornillo y se le activa hasta enrojecer bien la retorta; despues se proyectan sucesivamente por el tubo de porcelana pedazos de azufre, teniendo cui-

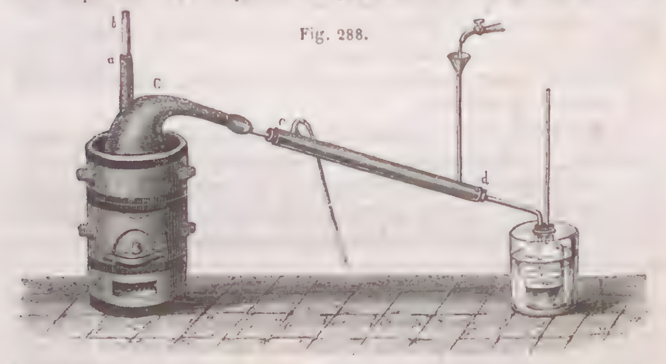


Fig. 288.

dado á cada vez de cerrar al instante la abertura *b* con el tapon de corcho. El fragmento de azufre cae al fondo de la retorta, y se reduce á vapor, el cual atravesando la masa de carbon hecho ascua, produce sulfuro de carbono, que se condensa en el refrigerante y va á parar al recipiente.

§ 274. El sulfuro de carbono, recogido en el recipiente, forma debajo del agua una capa oleaginosa y amarilla; y en tal estado no se halla puro, pues contiene siempre una porcion mas o menos considerable de azufre disuelto. Para purificarlo se le destila al baño-maría en una retorta de vidrio: el azufre queda en la retorta, y el sulfuro de carbono destila en forma de un líquido inco-

loro. Se pone el líquido destilado en contacto durante algun tiempo con cloruro de calcio, que le despoja del agua; y luego se le somete á una segunda destilacion en un aparato enteramente seco.

El sulfuro de carbono es un líquido incoloro, de mucha movilidad, y dotado de un olor particular en extremo desagradable. Su densidad es:

á....................	0°	1,293
y á..................	15°	1,271.

Hierve á 48° bajo la presion ordinaria de la atmósfera; de suerte que á la temperatura ordinaria, su vapor posee ya una tension considerable, y el líquido se evapora á los pocos instantes produciendo un frio bastante intenso.

El sulfuro de carbono no se disuelve sensiblemente en el agua: pero cuando este líquido ha permanecido algun tiempo en contacto con aquel cuerpo, se impregna de su mismo olor. El alcohol absoluto y el éter disuelven una cantidad indefinida de sulfuro de carbono; y así debe ser, puesto que estos tres líquidos pueden mezclarse en proporciones cualesquiera.

Este cuerpo arde en el aire con una llama azul, produciendo ácidos carbónico y sulfuroso.

El sulfuro de carbono disuelve el azufre y el fósforo en gran cantidad; y abandonando estas disoluciones á una evaporacion lenta, el azufre y el fósforo se depositan en forma de cristales regulares. Hemos visto que se obtiene por este medio azufre cristalizado en forma de octaedros del cuarto sistema, semejantes á los cristales de azufre nativo.

§ 275. Se analiza el sulfuro de carbono quemándole con óxido de cobre, á fin de trasformar el carbono en ácido carbónico, y el azufre en ácido sulfúrico.

Es menester primeramente pesar con mucha exactitud una cierta cantidad de este cuerpo, puesto en condiciones tales que, á pesar de su mucha volatilidad, no pueda perder nada por evaporacion. Para el efecto, se prepara con un tubo una ampolla de vidrio A (fig. 289), entre sus dos extremidades adelgazadas á la lámpara *a* y *b*. Se determina el peso de esta ampolla, y despues se la llena de sulfuro de carbono; para lo cual se introduce una de las puntas *a* en el líquido, y se aspira por la otra *b* hasta que la ampolla quede casi llena; se pone entónces el dedo sobre la abertura libre *b*, se saca la ampolla, y se sumerge la extremidad de la punta *a* en la parte mas caliente

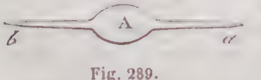


Fig. 289.

de la llama de una lámpara de alcohol, ó mejor en la llama que se proyecta por medio de un soplete: esta punta se funde y queda cerrada herméticamente. Se hace lo mismo para la otra extremidad *b*, y se logra por este medio tener completamente encerrado el sulfuro de carbono. Si se pesa otra vez la ampolla llena, es claro que el aumento de peso será la cantidad de sulfuro de carbono introducida.

Se tiene dispuesto de antemano un tubo de vidrio adelgazado en punta por una de sus extremidades *b*, y abierto libremente por la otra *a* (fig. 290). Ademas debe haberse calcinado óxido de cobre

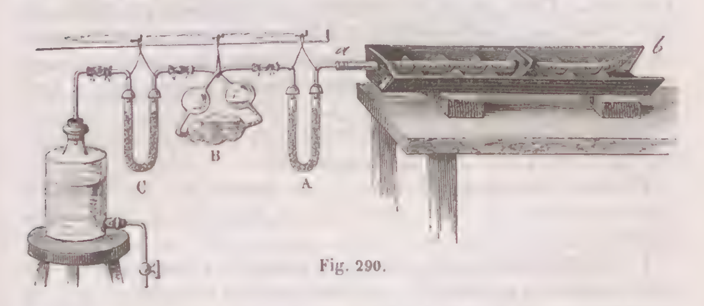


Fig. 290.

en un crisol de barro, que se ha enfriado bien en un sitio donde no haya podido atraer la humedad del aire. Habiendo desecado perfectamente el tubo *ab*, se abre la ampolla rompiendo una de las puntas, despues de haber hecho una rayita profunda cerca de su extremidad con una lima ó pedernal. Se deja caer al instante en el fondo del tubo la ampolla con la pequeña punta que se ha separado al abrirla, y se echa inmediatamente por encima óxido de cobre hasta una altura de 2 á 3 decímetros, se acaba de llenar el tubo con óxido de plomo ó litargirio, que debe ocupar una longitud de 3 decímetros lo menos; se le coloca despues en un hornillo largo de palastro, y se adapta á su extremidad abierta *a* la serie de aparatos A, B, C, que hemos descrito (§ 266). El tubo A, lleno de piedra pómez con ácido sulfúrico, ha sido pesado exactamente, y lo propio se ha hecho con el sistema de los dos aparatos B y C: el primero, segun sabemos, contiene una disolucion de potasa cáustica, y el segundo está lleno de fragmentos de esta misma sustancia.

Dispuesto de este modo todo el aparato (y es importante que en ello se emplee el menos tiempo posible, pues de lo contrario el sulfuro de carbono, contenido en la ampolla abierta, daria vapores que se esparcirian por el tubo, sustrayéndose á la combustion

cuando principia el experimento), se calienta rápidamente con carbon bien encendido la parte anterior del tubo que contiene el óxido de plomo, despues se va calentando poco á poco la porcion del tubo en que se halla el óxido de cobre; y por último. se aproxima con precaucion una sola ascua hácia la ampolla, á fin de que el sulfuro de carbono destile lentamente. El vapor al atravesar el óxido de cobre es quemado por el oxígeno de este cuerpo: su carbono produce ácido carbónico, y el azufre queda combinado en gran parte con el óxido de cobre, formando un subsulfato de protóxido. Parte de él sin embargo se desprende en estado de ácido sulfuroso, y acompañaria al ácido carbónico, si no fuese absorbido completamente por el óxido de plomo calentado que ocupa la parte anterior del tubo. El ácido carbónico pasará solo y será absorbido en los tubos B y C.

Cuando ha cesado el desprendimiento de gas, se da fin al experimento como hemos referido (página 379).

Pesando nuevamente el tubo A, se observa que no ha tenido aumento de peso, lo cual prueba que la sustancia no contenia hidrógeno.

El aumento de peso del sistema de tubos B y C dará el peso del ácido carbónico producido, y en consecuencia se sabrá el peso de carbono encerradc en el sulfuro de carbono que se ha sometido al análisis.

Como este cuerpo no contiene mas que azufre y carbono, claro está que la cantidad de azufre resultará por diferencia. pero puede determinarse tambien directamente, y con esto se habra hecho un análisis completo de la sustancia.

Para el efecto, se pesa una nueva cantidad de sulfuro de carbono en una ampolla cerrada herméticamente de la misma manera que acabamos de describir. Se introduce esta ampolla, despues de haberla abierto por una de sus extremidades, en un tubo de vidrio como el que hemos empleado en la operacion precedente, aunque no hay necesidad de que sea tan largo. Se llena completamente este tubo de una mezcla de óxido de cobre y carbonato de sosa. y se cierra su extremidad abierta con un tapon agujereado. Se calienta progresivamente la mezcla de óxido de cobre y carbonato de sosa, y no se va aproximando el fuego hácia la extremidad en que se halla la ampolla, hasta que la parte anterior del tubo se encuentre á la temperatura del rojo sombrío. El vapor de sulfuro de carbono se quema completamente, el ácido carbónico se desprende, y el azufre se convierte en ácido sulfúrico, que se combina con la sosa.

Terminada la operacion, y enfriado enteramente el tubo, se saca la materia y se la echa en una cápsula; despues se lava repetidas veces este tubo con agua destilada caliente, que se va recogiendo en la misma cápsula, cuidando que no se pierda ni la mas pequeña gota; en fin, se calienta la cápsula algun tiempo con la materia y el agua que contiene. El carbonato de sosa en exceso y el sulfato de sosa se disuelven; se filtra la disolucion, y se lava el residuo con agua caliente, hasta que haya perdido su materia soluble. Todo el ácido sulfúrico producido por la combustion del sulfuro de carbono se encontrará mezclado en el líquido con un grande exceso de carbonato de sosa. Para determinar la proporcion de este ácido, se empieza vertiendo ácido clorhídrico en la disolucion, hasta que esta adquiera una reaccion sumamente ácida: el carbonato de sosa se habrá convertido así en cloruro de sodio. Si seguidamente se echa en el líquido una disolucion de cloruro de bario, todo el ácido sulfúrico se precipitará en estado de sulfato de barita. Por el peso de sulfato que se obtenga, se deducirá la cantidad de azufre contenida en el sulfuro de carbono.

Reunidos los resultados de ambos análisis, se verá que la sustancia analizada no contiene mas que azufre y carbono en la relacion de

1 eq. carbono.....	75,00	15,79
2 » azufre.......	400,00	84,21
	475,00	100,00.

1 volúmen de vapor de sulfuro de carbono encierra

$\frac{1}{3}$ vol. vapor de azufre..	2,2180
$\frac{1}{2}$ » vapor de carbono......	0,4145
	2,6325.

La densidad del vapor de sulfuro de carbono, hallada por la experiencia directa, es en efecto 2,67.

El sulfuro de carbono tiene la misma fórmula en equivalentes que el ácido carbónico; y así como el acido carbónico se une con los protóxidos metálicos RO para formar carbonatos

$$RO.CO^2,$$

de la misma manera el sulfuro de carbono se combina con los monosulfuros ó protosulfuros metálicos RS constituyendo verdaderas sales

$$RS.CS^2,$$

que suelen ser isomorfas con las combinaciones correspondientes $RO.CO^2$.

Fundándose en esta propiedad, se ha dado acertadamente el nombre de *ácido sulfocarbónico* al sulfuro de carbono, y el de *sulfocarbonatos* á las combinaciones que forma con los monosulfuros.

COMBINACION DEL CARBONO CON EL AZOE.

Azoturo de carbono ó cianógeno, C^2Az ó Cy.

§ 276. El carbono y el azoe forman una combinacion muy importante, el cianógeno*, cuyo estudio completo deberá hacerse mas oportunamente con el de los productos que se extraen del reino animal; sin embargo, como las combinaciones del cianógeno con los metales son enteramente análogas á los cloruros correspondientes, y suelen emplearse como reactivos para caracterizar las disoluciones metálicas y distinguirlas entre sí, expondremos desde ahora algunas de las principales propiedades de este cuerpo, así como las de su combinacion con el hidrógeno, el *ácido cianhídrico*, que corresponde en un todo al ácido clorhídrico.

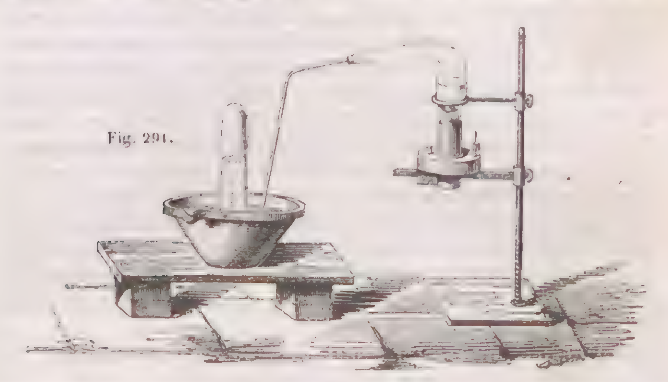
El carbono y el azoe no se combinan directamente entre sí, pero lo verifican de un modo indirecto, cuando se calienta en un tubo de porcelana una mezcla de carbonato de potasa y de carbon, y se pasa por el tubo una corriente de gas azoe: se desprende óxido de carbono, y tratando en seguida el residuo por el agua, se disuelve una proporcion notable de cianuro de potasio que se ha formado.

El cianuro de potasio se prepara en las artes en gran cantidad, calentando en vasos de hierro mezclas de carbonato de potasa y de los residuos carbonosos que se obtienen por la calcinacion incompleta de materias animales; como la carne, los huesos, el cuerno, etc., etc. Describiremos esta preparacion cuando tratemos especialmente del cianuro de potasio.

Si se vierte en una disolucion concentrada y caliente de cianuro de potasio otra disolucion caliente tambien de nitrato de mercurio, y se deja enfriar la mezcla de estos dos líquidos, se separa cianuro de mercurio cristalizado, que puede purificarse por una segunda cristalizacion. Valiéndose de este cianuro de mercurio, se prepara fácilmente el cianógeno y el ácido cianhídrico.

* El descubrimiento del cianógeno, debido á M. Gay-Lussac, ha sido de suma importancia para las ciencias químicas, ofreciéndonos el primer ejemplo de un cuerpo compuesto que en sus combinaciones goza de las propiedades, y hace el mismo oficio que un cuerpo simple.

Se obtiene el cianógeno calentando cianuro de mercurio en una pequeña retorta de vidrio, ó en un tubo cerrado por uno de sus extremos y provisto de otro tubo encorvado á propósito para recoger el gas en una campana colocada sobre la cuba de agua, ó mejor sobre la de mercurio (fig. 291). El cianuro de mercurio se des-


Fig. 291.

compone en cianógeno que queda libre, y en mercurio metálico que se condensa en forma de gotitas en la parte superior de la retor ta Continuando la accion del calor hasta que cese el desprendimiento, se echa de ver que la materia no ha experimentado totalmente la fácil descomposicion que acabamos de indicar; queda por residuo una sustancia parda, que presenta exactamente la misma composicion del cianógeno, y á la cual se ha dado por esta causa el nombre de *paracianógeno*. La porcion de cianógeno que toma este estado isomérico es variable segun se caliente el cianuro de mercurio; pero no se ha logrado hasta ahora dirigir la operacion de manera que pueda evitarse completamente su formacion.

El cianógeno es un gas incoloro de un olor fuerte particular, que recuerda el del licor llamado kirsch. Su densidad es igual á 1,86. El gas cianógeno se liquida á la temperatura ordinaria, bajo una presion de 4 á 5 atmósferas, ó bien enfriándole á — 20° sin aumentar la presion. El cianógeno en este estado constituye un líquido incoloro, de mucha movilidad, y con una densidad que se acerca á 0,9.

El cianógeno arde con una llama de un color purpúreo muy característico, produciendo ácido carbónico y azoe libre.

El agua disuelve 4 ó 5 veces su volúmen de gas cianógeno, pero si la temperatura aumenta, pierde fácilmente el gas que habia di-

suelto. La disolucion acuosa de cianógeno, abandonada á sí misma en un frasco tapado, no tarda en tomar un color pardo, y al cabo de algun tiempo se deposita un polvo de este mismo color. La descomposicion que experimenta el cianógeno en esta circunstancia, es sobrado complicada para que tratemos de explicarla en este lugar, no habiendo sido por otra parte bastante estudiada todavía. El alcohol disuelve de 20 á 25 veces su volúmen de gas cianógeno

§ 277. Siendo el cianógeno un gas combustible, y dando su combustion productos gaseosos fáciles de separar, pudiera creerse que su análisis se ejecutaria fácilmente por medio del eudiómetro; pero cuando se hace detonar en este aparato una mezcla de cianógeno y oxígeno, se observa que la combustion es siempre incompleta. Resulta una combustion mas perfecta, añadiendo á la mezcla de gas oxígeno y cianógeno cierta cantidad de mezcla detonante de oxígeno é hidrógeno, en las proporciones exactas que constituyen el agua. Esta mezcla se prepara fácilmente descomponiendo el agua por la pila, y recogiendo en una misma campana los gases que se desprenden de los dos polos.

Supongamos que se hayan introducido en el eudiómetro

	100	de gas cianógeno
	250	» oxígeno
Total...	350	

y ademas un volúmen indeterminado de mezcla detonante, que no hay necesidad de medir, puesto que desaparecerá por la combustion, condensándose en el estado de agua. Despues de aguardar algunos minutos para dar tiempo á que los gases se mezclen completamente, se hace pasar la chispa eléctrica. Por la combustion, la mezcla detonante formará agua, y el cianógeno dará ácido carbónico y azoe libre. Se medirá el volúmen de gas, que se compone de ácido carbónico, de azoe y del oxígeno que se ha puesto en exceso, y se hallará que este volúmen es de 350.

Si se agita la mezcla gaseosa con una pequeña cantidad de disolucion de potasa cáustica, el ácido carbónico será absorbido, y no quedarán mas que el azoe y el oxígeno. Se encuentra que el volúmen de estos dos últimos gases es de 150.

Las 100 partes de cianógeno han dado, pues, 200 de ácido carbónico, que contienen 100 de vapor de carbono.

Falta solo analizar la mezcla de las 150 de azoe y oxígeno. Para el efecto se introduce en el eudiómetro una cantidad conocida de hidrógeno, por ejemplo, 150 partes; volúmen total 300, y se hace pasar la chispa eléctrica. Despues de la explosion, se mide el volú-

men del gas restante, y se hallará que es de 150; otras 150 partes habrán desaparecido por la combustion, debiendo evidentemente hallarse compuestas de oxígeno é hidrógeno en las proporciones que constituyen el agua, es decir, de 100 de hidrógeno y 50 de oxígeno.

Así pues, en las 150 partes de mezcla de oxígeno y azoe, que nos quedaban despues de la absorcion del ácido carbónico por la potasa, habia 50 de oxígeno, y por consiguiente 100 de azoe.

Resulta de aquí que 100 partes de cianógeno contienen:

100 de vapor de carbono
100 de azoe.

1 volúmen de gas cianógeno encerrará segun esto 1 volúmen de vapor de carbono y 1 volúmen de azoe, condensados en 1 volúmen. Este análisis se confirma por el valor numérico de la densidad del cianógeno, hallada directamente por la experiencia.

En efecto, 1 vol. vapor de carbono pesa.............	0,8290
1 » gas azoe........................	0,9713
La suma pesa	1,8003

que no difiere mucho del número 1,86 obtenido directamente para el gas cianógeno por medio de la balanza. La diferencia entre los dos números es con todo demasiado grande para que pueda atribuirse á los errores de observacion; y consiste en que, á la temperatura ordinaria, las moléculas del gas cianógeno se encuentran ya mas próximas entre sí de lo que deberian estarlo, si este gas pudiera asimilarse á los gases mas perfectos, como son el azoe, el hidrógeno, etc.

El análisis eudiométrico que acabamos de describir no da resultados muy exactos; y esto depende: 1° de que el gas cianógeno se halla ya, cuando se mide, en un estado de condensacion anómalo, segun poco ántes hemos indicado, y por consiguiente su volúmen observado es demasiado pequeño; 2° de que la combustion del cianógeno por el oxígeno, en presencia del mercurio, suele originar un poco de protonitrato de mercurio, el cual hace desaparecer cierta cantidad de azoe y oxígeno.

Puede obtenerse con mas exactitud la composicion del cianógeno, quemando este gas con óxido de cobre, y recogiendo los productos gaseosos de la combustion. Se llena un tubo de vidrio, la mitad de óxido de cobre y la otra mitad de cobre metálico. Por una de sus extremidades se adapta un tubo encorvado propio para recoger el gas sobre la cuba de mercurio, y á la opuesta se ajusta, por medio

de un tapon, una pequeña retorta de vidrio que contenga cianuro de mercurio. Se calienta el tubo hasta el rojo, y despues se aplica á la retorta la accion del calor, para descomponer lentamente el cianuro de mercurio. El cianógeno pasa primero por entre el óxido de cobre, y se quema produciendo ácido carbónico y azoe; la mezcla de estos dos gases se dirige en seguida por la parte anterior del tubo que contiene el cobre metálico, el cual descompone los óxidos de cobre que hubieran podido formarse por la combustion del cianógeno; y en fin, los gases se escapan atravesando el mercurio. Cuando se ha dejado salir un volúmen algo considerable de gas, á fin de asegurarse de que todo el aire que llenaba primitivamente nuestro aparato ha sido desalojado, se recoge una porcion de dicho gas en una campana graduada, y se le mide exactamente. Se introduce en seguida una corta cantidad de disolucion de potasa para absorber el ácido carbónico: el volúmen gaseoso queda reducido á $\frac{1}{3}$.

Este experimento hace ver que el gas cianógeno, ardiendo en el oxígeno, produce un volúmen de gas ácido carbónico duplo que el de gas azoe libre. Combinando este resultado con las densidades conocidas de los gases cianógeno y azoe, y con la composicion del ácido carbónico, se obtienen los datos suficientes para deducir la del gas cianógeno.

En efecto, 2 volúmenes de ácido carbónico contienen

1 volúmen de vapor de carbono, cuyo peso es....	0,8290
1 volúmen de gas azoe, que pesa....................	0,9713
	1,8003.

Un peso 1,8003 de cianógeno contendrá pues

0,8290 carbono
0,9713 azoe.

Por consiguiente, 100 de cianógeno encerrarán

Carbono..........	46,15
Azoe.............	53,85
	100,00.

Siendo la diferencia entre el número 1,800 y el 1,86, que la experiencia ha dado para la densidad del cianógeno, bastante pequeña para que se nos permita atribuirla á que este gas no presenta á la temperatura ordinaria su elásticidad normal, podremos inferir de los números indicados, que 1 volúmen de cianógeno contiene 1 volúmen de vapor de carbono y 1 volúmen de gas azoe.

El análisis del cianógeno puede aun hacerse por otro método

susceptible de mayor exactitud que los que acabamos de describir. Se reduce simplemente á quemar por el óxido de cobre un cianuro metálico cuya composicion sea fácil averiguar, por ejemplo, el cianuro de mercurio.

Para esto se empieza por determinar la cantidad de mercurio que contiene 1 gramo de cianuro de mercurio. Se coloca cierta cantidad de cianuro de mercurio en la bola A de un tubo encorvado *abcd* (fig. 292), y se pone la extremidad *a* en comunicacion con un aparato que desprenda lentamente gas cianógeno. La extremidad *d* se adelgaza en punta.

Fig. 292.

Se calienta la bola A con una lámpara de alcohol: el cianuro de mercurio se descompone, el mercurio queda libre, y es arrastrado por la corriente gaseosa á la parte *bcd*, donde se condensa. Terminada la operacion, lo cual se reconoce fácilmente en que ya no se condensa mas vapor mercurial, se corta el tubo por la parte *b*, que ha sido estirada á la lámpara para romperla con mas facilidad. Se equilibra exactamente en la balanza la porcion separada *bcd*, con el mercurio que contiene; despues se hace salir todo el mercurio, y se vuelve á poner en la balanza el tubo *bcd*. El peso que será menester añadir para restablecer el equilibrio representará con la mayor exactitud el del mercurio obtenido.

Se hallará de este modo que 100 partes de cianuro de mercurio

contienen..........................	79,36 de mercurio,
y por consecuencia	20,64 de cianógeno.
	100,00.

Conocida la composicion del cianuro de mercurio, bastará para determinar la del cianógeno, quemar con óxido de cobre un peso conocido de este cianuro, y hallar los pesos de ácido carbónico y azoe que resultan.

La determinacion del ácido carbónico puede ejecutarse exactamente como lo hemos hecho en el análisis del ácido oxálico (§ 266); con la precaucion sin embargo de tomar un tubo algo mas largo, y de poner en su parte anterior cobre metálico hasta la longitud de unos 2 decímetros; pues, como la sustancia contiene azoe, podria temerse que de su combustion resultara cierta cantidad de óxido de azoe. El mercurio se condensa en el tubo A (fig. 279), que se ha llenado de fragmentos de cloruro de calcio. El aumento de peso que tenga el sistema de tubos B y C dará el peso del ácido carbónico producido.

Se determina la cantidad de azoe contenida en el cianuro de mercurio, con un aparato igual al que nos ha servido para hallar la del azoe del nitrato de plomo (§ 143).

Se coloca en el fondo del tubo *ab* cierta cantidad de bicarbonato de sosa; se echa por encima óxido de cobre hasta que ocupe una longitud de 4 á 5 centímetros, despues una mezcla de un peso conocido de cianuro de mercurio y de óxido de cobre, luego una nueva cantidad de óxido de cobre puro, y por último, cobre metálico que venga á llenar una longitud de 2 decímetros. Por lo demas, se dirige la operacion de la misma manera exactamente que hemos indicado (§ 143). Se determina el volúmen de gas azoe que queda solo en la campana, y por él se deduce el peso del azoe contenido en el de cianuro de mercurio que hemos empleado.

Acido cianhídrico, $H.C^2Az$ *ó* HCy.

§ 278. El cianógeno y el hidrógeno no se combinan directamente entre sí, y para obtener el ácido cianhídrico es menester descomponer los cianuros metálicos por el ácido clorhídrico.

Puede prepararse el ácido cianhídrico, ya en el estado anhidro, ya disuelto en el agua.

Para obtener el ácido anhidro se descompone el cianuro de mercurio, en un pequeño matraz (fig. 293), por el ácido clorhídrico

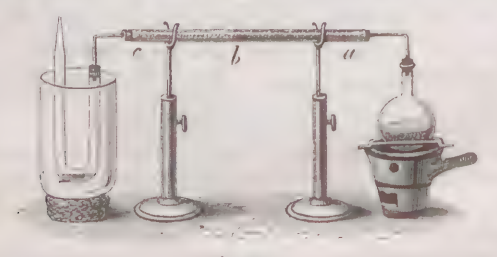


Fig. 293.

concentrado. Se pone este matraz en comunicacion con un tubo *abc*, cuya primera mitad *ab* se llena de fragmentos de mármol, y la otra *bc* de pedazos de cloruro de calcio fundido. A continuacion se dispone un tubo en U, que se rodea de una mezcla frigorífica. El ácido clorhídrico descompone el cianuro de mercurio:

$$HgCy + HCl = HgCl + HCy.$$

Se desprende ácido cianhídrico gaseoso, pero arrastra vapor de

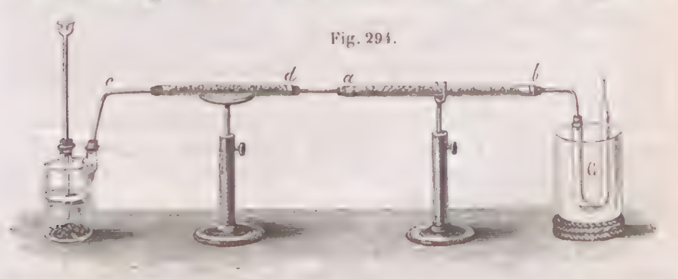
agua y ácido clorhídrico. La mezcla pasa por el tubo *abc*; y el ácido clorhídrico, que es un ácido enérgico, descompone el mármol, formándose cloruro de calcio, agua y ácido carbónico libre:

$$CaO.CO^2 + HCl = CaCl + HO + CO^2;$$

el ácido cianhídrico, que por el contrario es un ácido muy débil, no ejerce accion sobre el carbonato de cal. Se tiene por consiguiente una mezcla de gas cianhídrico, ácido carbónico y vapor de agua, que penetra por la segunda mitad *bc* del tubo, llena de cloruro de calcio; el vapor de agua es absorbido únicamente, y la mezcla de los gases cianhídrico y carbónico pasa al tubo enfriado. El ácido cianhídrico se condensa en estado líquido, al paso que el ácido carbónico conserva el estado gaseoso; mas el primero contendrá necesariamente en disolucion toda la cantidad de ácido carbónico que puede absorber en las circunstancias en que se ha condensado.

Es mejor preparar el ácido cianhídrico anhidro, descomponiendo el cianuro de mercurio por el ácido sulfhídrico gaseoso. Para el efecto, se coloca el cianuro de mercurio en un tubo largo de vidrio *ab*, y se dispone á continuacion un tubo en U que se rodea de una mezcla frigorífica. La extremidad *a* comunica con un aparato

Fig. 294.



del cual se desprende gas ácido sulfhídrico seco, que se prepara descomponiendo en frio por el ácido sulfúrico dilatado el sulfuro de hierro fundido, puesto en un frasco bitubulado: se produce así una corriente lenta de gas ácido sulfhídrico, que se gradúa segun se quiera. El gas se deseca al atravesar un tubo *cd* lleno de fragmentos de cloruro de calcio. El cianuro de mercurio se descompone por el contacto del ácido sulfhídrico, formándose sulfuro de mercurio y ácido cianhídrico anhidro, que queda gaseoso en el tubo *ab*, si se tiene cuidado de mantener este tubo á una temperatura superior á 25°, y pasa despues al recipiente enfriado, donde se con-

densa. La descomposicion del cianuro de mercurio se efectúa gradualmente desde la extremidad *a*, siempre que la corriente de gas ácido sulfhídrico sea bastante lenta. Como el cianuro de mercurio blanco se trasforma en sulfuro negro, puede observarse fácilmente la marcha de la operacion; y si se termina esta ántes que toda la columna de cianuro se haya descompuesto, se obtendrá en el recipiente ácido cianhídrico puro.

El ácido cianhídrico forma un líquido incoloro, de mucha movilidad, que se solidifica á —15°, y hierve á +26°,5. El frio que produce este líquido evaporándose al aire, es suficiente las mas de las veces para congelar la parte que queda líquida. La densidad del ácido cianhídrico líquido es 0,697, y la de su vapor 0,947. Su olor es muy penetrante, y recuerda el de las almendras amargas.

§ 279. El análisis completo del ácido cianhídrico puede ejecutarse con mucha exactitud. Consta de dos partes distintas: la determinacion simultánea del hidrógeno y carbono, y la determinacion del azoe. En ambas operaciones se introduce el ácido cianhídrico líquido en una pequeña ampolla, cuyas dos extremidades adelgazadas se cierran herméticamente, y despues se la pesa con la mas escrupulosa exactitud.

Para determinar el hidrógeno y el carbono, se dispone un tubo de vidrio poco fusible, de unos 6 decímetros de longitud, abierto por uno de sus extremos, estirado y ensanchado despues por el opuesto. Se introduce óxido de cobre, solamente hasta llenar una parte de su longitud, y se le acaba de llenar con cobre metálico, que debe ocupar una longitud de 2 decímetros lo menos. Se adaptan á la abertura libre los aparatos destinados á recoger el agua y el ácido carbónico, aparatos que hemos descrito (§ 266), y están representados en la figura 279.

La ampolla que contiene el peso conocido de ácido cianhídrico, se ajusta por medio de un tubo corto de goma elástica al orificio ó boquilla en que remata el tubo de combustion, de modo que la parte adelgazada, que queda cerrada, se introduzca por la boca de este hasta una longitud de 1 centímetro próximamente. Se calienta hasta el rojo el tubo de combustion, despues se abre la ampolla, para lo cual no hay mas que apoyar su punta contra la pared interior del tubo. El ácido cianhídrico destila al instante, y sus vapores son quemados por el óxido de cobre, resultando de esta combustion agua, ácido carbónico, azoe y deutóxido de azoe; pero este último gas es descompuesto por el cobre metálico calentado, que llena la parte anterior del tubo, y se reduce á azoe. El agua y el ácido carbónico se condensan en los aparatos A, B y C (fig. 279).

Por lo demas, puede graduarse la destilacion del ácido cianhídrico, enfriando convenientemente la ampolla. Se da fin á la operacion como se ha dicho (página 379).

El azoe se determina del mismo modo que lo hemos hecho para el ácido hiponítrico (§ 125); cuidando solamente de llenar el tubo de combustion, hasta los dos tercios de su longitud, de óxido de cobre, y el último tercio de cobre metálico, como en el caso anterior. De este modo se halla que 1 gramo de ácido cianhídrico da:

$0^{gr},333$ de agua;

$1^{gr},629$ de ácido carbónico;

$412^{cc},1$ de gas azoe seco á 0°, y bajo la presion de $0^{m},760$, que corresponden á $0^{gr},518$ de azoe.

De estos datos experimentales resulta para el ácido cianhídrico la composicion siguiente:

1 eq.	hidrógeno	12,50	3,70
2 »	carbono	150,00	44,44
1 »	azoe	175,00	51,86
1 »	ácido cianhídrico	337,50	100,00.

La fórmula del ácido cianhídrico será, pues, H,C^2Az ó HCy.

El cianógeno y el hidrógeno se hallan combinados en el ácido cianhídrico de la misma manera que el cloro y el hidrógeno en el ácido clorhídrico. En efecto, 1 volúmen de ácido cianhídrico contiene ½ volúmen de hidrógeno y ½ de cianógeno sin condensacion; puesto que se tiene

½ densidad del hidrógeno	0,0346
½ densidad del cianógeno	0,9300
	0,9646.

La experiencia directa ha dado el número 0,947 para la densidad del ácido cianhídrico.

§ 280. El ácido cianhídrico líquido debe conservarse en tubos cerrados á la lámpara, empleando para llenarlos el mismo procedimiento que hemos descrito al tratar del ácido sulfuroso (§ 134). Pero este producto no puede conservarse mucho tiempo sin alteracion; pues á los pocos dias el líquido toma un color moreno, y no tarda en depositarse una materia parduzca pulverulenta. La reaccion química que origina esta descomposicion imperfecta es al parecer muy complicada, y hasta el presente no ha sido objeto de un estudio profundo y detenido.

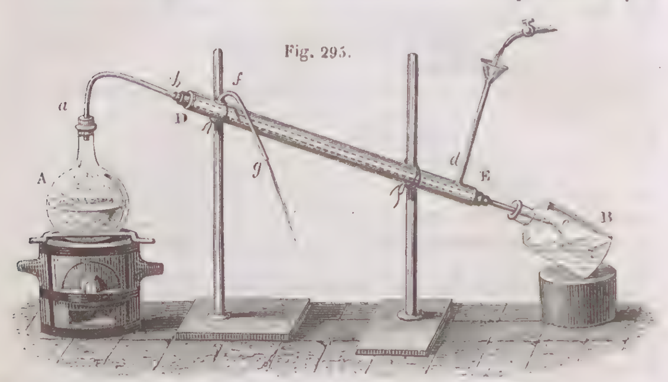
El ácido cianhídrico, llamado comunmente *ácido prúsico*, es uno

de los venenos mas violentos que se conocen. Una gota derramada sobre la lengua de un perro, ocasiona su muerte repentina. Esta sustancia, peligrosa en extremo, debe manejarse con las mayores precauciones, y no menos ha de evitarse el respirar sus vapores.

El ácido cianhídrico se disuelve en el agua en todas proporciones. Los farmacéuticos suelen preparar estas disoluciones acuosas para los usos de la medicina.

Se obtienen las disoluciones de ácido cianhídrico, poniendo en un matraz A (fig. 295) 1 parte de cianoferruro de potasio, ó pru-

Fig. 295.



siato de potasa (cianuro doble de potasio y hierro, KCy+FeCy), y $1\frac{1}{2}$ parte de ácido sulfúrico concentrado, diluido en 2 partes de agua. Se adapta al cuello del matraz un tubo largo de vidrio *abc*, que entra en otro mas ancho DE, por el cual se hace circular una corriente continua de agua fria; y despues viene á introducirse en un frasco bien enfriado B, sumergiéndose un poco en el agua que contiene. Se calienta el matraz al baño-maría, y se van echando en el frasco cantidades mas ó menos grandes de agua, obteniendo de este modo disoluciones menos ó mas concentradas de ácido cianhídrico. Es conveniente asegurarse siempre de la cantidad de ácido disuelto en el líquido; y basta para esto tomar un volúmen conocido, y verter en él una disolucion de nitrato de plata; se formará un precipitado de cianuro de plata, cuyo peso servirá para determinar la cantidad de ácido cianhídrico.

Se obtiene igualmente una disolucion de ácido cianhídrico con una dósis determinada de este último, disolviendo en el agua una proporcion conocida de cianuro de mercurio, y haciendo pasar por el líquido una corriente de hidrógeno sulfurado; pero la disolucion

en este caso contendrá tambien ácido sulfhídrico, y será menester, para despojarla de este último, agitarla durante algunos instantes con carbonato de plomo.

La disolucion de ácido cianhídrico en el agua se altera muy pronto, y no debe prepararse sino poco ántes del momento en que se la quiera emplear.

OBSERVACIONES SOBRE LOS EQUIVALENTES DE LOS CUERPOS SIMPLES NO METALICOS.

§ 281. Hemos referido los equivalentes de los cuerpos simples al del oxígeno, supuesto igual á 100; pero pudieramos haber elegido por término de comparacion otro cuerpo simple cualquiera : el hidrógeno, el cloro, por ejemplo. Obtendríamos de este modo otras series de números muy diferentes, en sus valores absolutos, de los que hemos adoptado, si bien presentarian constantemente las mismas relaciones.

Tomemos el equivalente 12,50 del hidrógeno como igual á la unidad, y calculemos los valores numéricos correspondientes en este caso á los equivalentes de los demas cuerpos simples no metálicos. Es claro que para tener el equivalente del oxígeno, segun esta hipótesis, será necesario establecer la proporcion :

$$12{,}50 : 100 :: 1{,}00 : x, \text{ de donde } x = 8{,}00.$$

Del mismo modo se calcularian los equivalentes de los otros cuerpos simples.

Tendremos pues la siguiente serie :

Equivalente	del hidrógeno.......	1,00
»	del oxígeno.........	8,00
»	del azoe............	14,00
»	del azufre..........	16,00
»	del selenio.........	39,28
»	del teluro..........	64,52
»	del cloro...........	35,45
»	del bromo.........	78,26
»	del iodo............	125,33
»	del fluor..........	19,48
»	del fósforo..........	32,00
»	del arsénico........	75,00
»	del boro............	10,88
»	del silicio..........	21,35
»	del carbono.........	6,00.

Se nota inmediatamente á la simple inspeccion de esta tabla, que de los quince cuerpos simples hay siete, es decir, cerca de la mitad, cuyos equivalentes se hallan representados por números enteros, ó de otro modo, por números múltiplos exactos del equivalente del hidrógeno, el mas ligero de todos. Estos son :

Hidrógeno.......	Equivalente =	1,00
Oxígeno..............	»	8,00
Azoe................	»	14,00
Azufre...............	»	16,00
Fósforo...............	»	32,00
Arsénico.............	»	75,00
Carbono..............	»	6,00.

Si solo se conocieran estos siete cuerpos, se admitiria inmediatamente esta ley : *los equivalentes de los cuerpos simples no metálicos son múltiplos exactos del equivalente del hidrógeno* *; pero los ocho metaloides restantes forman una excepcion. Sin embargo, convendrá observar que todavía existe mucha incertidumbre sobre los verdaderos valores de los equivalentes de estos últimos cuerpos. Muchos de ellos son muy raros, y no hay ademas seguridad completa de haberlos obtenido en estado de pureza. Los números hallados por los varios experimentadores suelen presentar entre sí diferencias que exceden á las correcciones que deberian hacerse en los equivalentes adoptados, para hacerlos entrar en la ley enunciada. Por el contrario, los siete cuerpos simples que satisfacen á la ley, son precisamente aquellos cuyos equivalentes se conocen con entera confianza, y se han determinado en estos últimos tiempos por medio de numerosos experimentos, todos perfectamente acordes.

Entre los cuerpos simples que forman excepcion, uno tan solo, el cloro, ha sido objeto muy recientemente de una multitud de experimentos, que se han hecho con el objeto especial de decidir si su equivalente podia considerarse como un múltiplo del equivalente del hidrógeno. De todos los trabajos de esta clase, los que

* Un químico inglés, el doctor Prout, ha sido el primero que ha enunciado esta ley hace ya cerca de veinte y cinco años. La confianza que tenia en su exactitud era tal, que no dudaba en alterar arbitrariamente los valores numéricos que la experiencia directa le habia dado para los equivalentes de los cuerpos simples, á fin de hacerlos múltiplos exactos del equivalente del hidrógeno. Las ideas de Prout no fueron adoptadas por los químicos del continente. M. Dumas, por sus determinaciones precisas de los equivalentes del hidrógeno, carbono y algunos cuerpos simples metálicos, ha llamado de nuevo la atencion de los químicos sobre este punto interesante, enseñando el único camino que puede conducirnos á decidir la cuestion.

mas confianza inspiran á los químicos han dado el número 443,2 para equivalente del cloro, hallándose el del oxígeno representado por 100. En la hipótesis de que el equivalente del hidrógeno sea igual á 1,00, el del cloro viene á ser, segun los mismos resultados, 35,45, que no es, como se ve, un múltiplo exacto del equivalente del hidrógeno.

Veremos en adelante, que los equivalentes de cierto número de cuerpos simples metálicos, determinados con mucha precision en estos últimos años, son múltiplos exactos del equivalente del hidrógeno; al paso que los de otros no han presentado relaciones tan sencillas.

Nos abstendremos por tanto de decidir si la ley antedicha debe admitirse para todos los cuerpos simples, ó aplicarse á cierto número de ellos. Es probable que haya un grupo de cuerpos simples, cuyos equivalentes sean múltiplos del equivalente del hidrógeno, y que respecto de todos los demas, sus equivalentes sean múltiplos del equivalente de otro cuerpo simple, ó cuando menos estén representados por una suma de términos de los cuales uno sea múltiplo del equivalente del hidrógeno, y los otros lo sean de los equivalentes de uno ó de varios cuerpos simples.

Esta cuestion importante llama de nuevo la atencion de los químicos, y es de esperar que con sus esfuerzos reunidos no tardarán mucho en resolverla.

FIN DEL TOMO PRIMERO.



INDICE DE LAS MATERIAS

CONTENIDAS EN EL PRIMER TOMO.

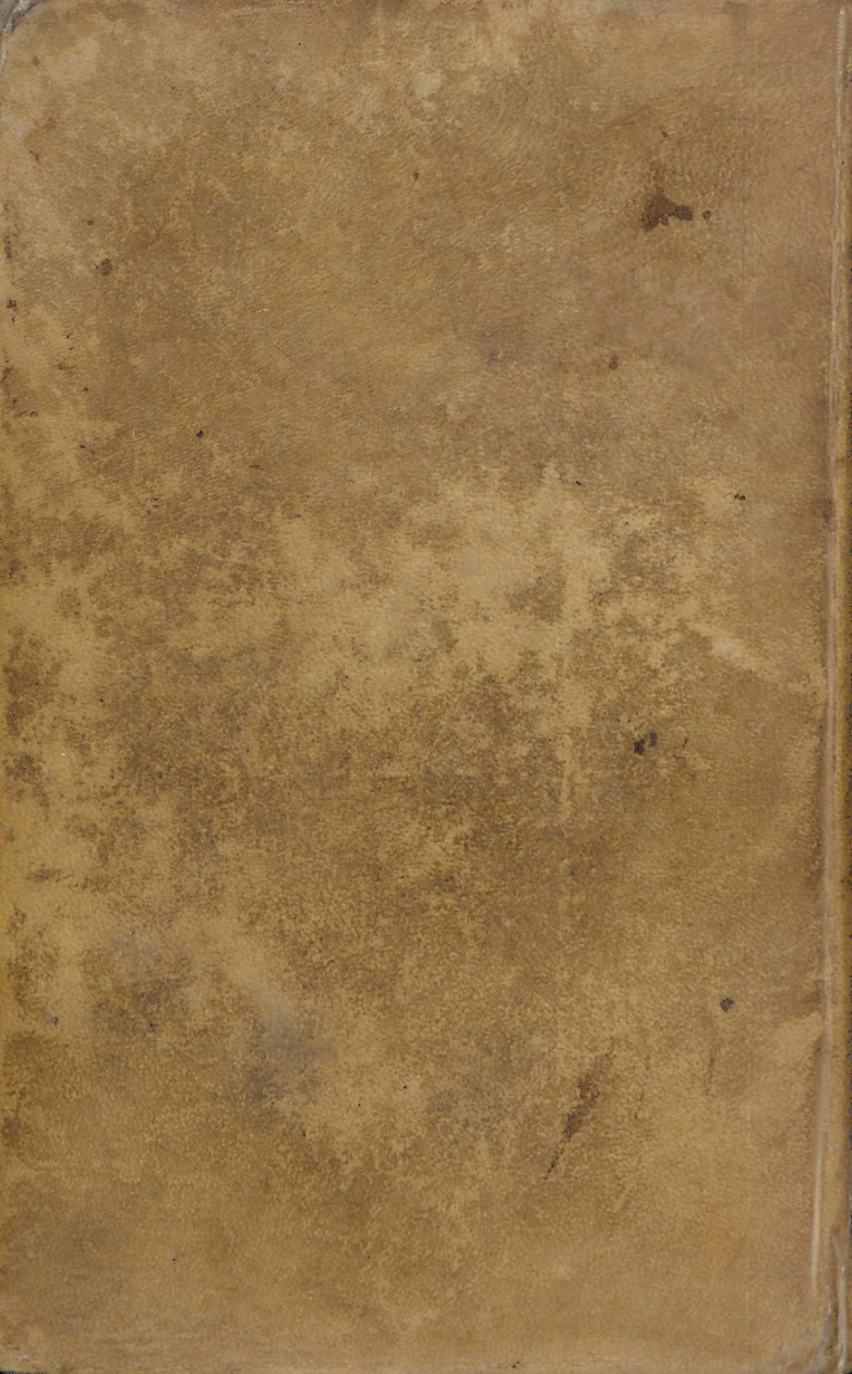
FIN DEL ÍNDICE DE LAS MATERIAS DEL TOMO PRIMERO.

ERRATAS.

Páginas.	*Líneas.*	*Dice.*	*Léase.*
172...........	23..............	al...............	por el.
185...........	3..............	COMBINACIONES...	COMBINACION.
267...........	1..............	*id*........	*id.*
276...........	26..............	hierva...........	hierve.
285...........	23.............	COMBINACIONES...	COMBINACION.
287...........	14.............	*id*........	*id.*

$HgS + 2HCl^2 = HgCl + 3H$

$Pb\,CaSO_3\,H_2O = PbH_3 + CaO$



colorchecker CLASSIC

mm

calibrite